



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DPTO. DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTÍNUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS

**“CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA
ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN DE UNA
NAVE INDUSTRIAL CON NAVE ALMACÉN
ANEXA SEGÚN C.T.E.”**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: **SERGIO DÍAZ LANCHO**

TUTORAS: **SONIA SÁNCHEZ SAEZ Y SHIRLEY KALAMIS GARCÍA CASTILLO**

Marzo 2014



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	8
1.1.- MOTIVACIÓN	9
1.2.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS NAVES INDUSTRIALES	9
1.3.- OBJETIVOS A ALCANZAR	12
1.4.- NORMATIVA APLICABLE	13
1.5.- ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	14
2.- CARACTERÍSTICAS DE LA NAVE	16
2.1.- TIPOLOGÍA DE USO	17
2.2.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA	17
2.3.- GEOMETRÍA BÁSICA DE LA ESTRUCTURA	17
2.3.1.- Geometría de la nave principal	18
2.3.2.- Geometría de la nave almacén	18
3.- METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL CÁLCULO	20
3.1.- HERRAMIENTAS DE CÁLCULO. SOFTWARE CYPE	21
3.2.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	23
3.2.1.- Elección de las dimensiones	23
3.2.2.- Características del cerramiento	24
3.2.3.- Acciones consideradas para el cálculo de la estructura	25
3.2.4.- Elección y cálculo de las correas de la cubierta	26
3.2.5.- Elección y cálculo de cubierta	27
3.2.6.- Cálculo de la cimentación	28
3.2.7.- Predimensionado y verificación de la estructura	28
4.- CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	29
4.1.- GEOMETRÍA DE LOS PÓRTICOS. CORREAS DE CUBIERTA	30
4.1.1.- Generador de pórticos	30
4.1.2.- Introducción de datos y cargas	32
4.1.3.- Geometría de los pórticos. Muros y elementos	36
4.1.3.1.- Geometría de los pórticos	36
4.1.3.2.- Muros y elementos	36
4.1.4.- Elección del perfil de las correas	37
4.2.- GENERACIÓN DE LA NAVE COMPLETA. NUEVO METAL 3D	40
4.2.1.- Definición de parámetros. Creación de las cerchas	40
4.2.2.- Predimensionamiento de cercha tipo	45
4.2.2.1.- Descripción de los apoyos	46



4.2.2.2.- Descripción de los nudos.....	47
4.2.2.3.- Descripción de las barras.....	48
4.2.2.4.- Flechas y pandeos.....	49
4.2.2.5.- Cálculo de la cercha.....	52
4.2.2.6.- Optimización de la estructura.....	53
4.2.2.7.- Comprobación de la cercha.....	55
4.2.3.- Introducción de nuevas barras: Estructura completa.....	58
4.2.3.1.- Geometría completa de la estructura.....	59
4.2.3.2.- Descripción de nudos y barras.....	66
4.2.3.3.- Hipótesis de cargas.....	72
4.2.3.4.- Introducción de pandeos y flechas.....	76
4.3.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA.....	79
4.3.1.- Comprobación de las barras y optimización de la estructura.....	79
4.3.2.- Dimensionamiento de las uniones.....	82
4.3.3.- Consulta de esfuerzos y tensiones.....	83
4.4.- PLACAS DE ANCLAJE.....	87
4.5.- CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	89
4.5.1.- Introducción de las zapatas.....	89
4.5.2.- Introducción de vigas de atado.....	90
4.5.3.- Definición de datos para el dimensionado.....	91
4.5.4.- Dimensionamiento y comprobación de la cimentación.....	93
4.5.5.- Igualación.....	94
5.- ESTRUCTURA DEFINITIVA.....	95
5.1.- RESUMEN DE LOS PASOS REALIZADOS.....	96
5.2.- ESQUEMAS DE LA ESTRUCTURA COMPLETA.....	97
6.- PRESUPUESTO.....	102
7.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	115
7.1.- CONCLUSIONES.....	116
7.2.- TRABAJOS FUTUROS.....	117
8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
9.- ANEJOS.....	122
9.1.- ANEJO A. RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA.....	123
9.2.- ANEJO B. RESULTADOS DE LAS UNIONES.....	141
9.3.- ANEJO C. EVALUACION DE LOS HUECOS DE LA ESTRUCTURA.....	156
10.- PLANOS.....	160



ÍNDICE DE FIGURAS

1. PÓRTICO RÍGIDO.....	11
2. CERCHA AMERICANA.....	11
3. CERCHA BELGA.....	11
4. CERCHA INGLESA.....	11
5. VIGA EN CELOSÍA.....	12
6. POLONCEU RECTA.....	12
7. POLONCEU RECTA INVERTIDA.....	12
8. GETAFE. POLÍGONO INDUSTRIAL “LAS MEZQUITAS”. MADRID.....	17
9. PÓRTICO TIPO NAVE PRINCIPAL.....	18
10. ESQUEMA GENERAL ESTRUCTURA DE LA NAVE.....	19
11. PLANTA DE LA NAVE.....	19
12. VENTANA PRINCIPAL SOFTWARE CYPE.....	22
13. VENTANA INICIAL DEL “GENERADOR DE PÓRTICOS”.....	31
14. VENTANA DE GUARDADO.....	31
15. PANELES TIPO SÁNDWICH.....	32
16. INTRODUCCIÓN DE DATOS DE LA OBRA.....	33
17. ZONAS EÓLICAS.....	33
18. VENTANA INTRODUCCIÓN DE HUECOS.....	34
19. VENTANA NIEVE.....	35
20. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN CYPE.....	35
21. VISUALIZACIÓN DEL PÓRTICO.....	36
22. INTRODUCCIÓN MEDIDAS DEL PÓRTICO.....	37
23. INTRODUCCIÓN CORREAS DE CUBIERTA.....	37
24. EDICIÓN DE CORREAS DE CUBIERTA.....	38
25. COMPROBACIÓN DE PERFILES.....	39
26. DIMENSIONES DE PERFIL DE CORREA.....	39
27. CORREAS DE CUBIERTA.....	40
28. EXPORTACIÓN A NUEVO METAL 3D.....	41
29. NORMAS.....	42
30. ESTADOS LÍMITE.....	43
31. ACERO.....	44
32. CIMENTACIÓN.....	44
33. PÓRTICOS EXPORTADOS.....	45
34. CERCHA INGLESA TIPO.....	46
35. ESQUEMA PLACA DE ANCLAJE.....	47
36. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE PILARES.....	48
37. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE CORDONES.....	49
38. PERFILES DIMENSIONADOS.....	52
39. COMPROBACIÓN DE PERFILES.....	53
40. RESUMEN DE MEDICION DE PERFILES.....	55
41. HIPÓTESIS DE CARGA PERMANENTE SOBRE LOS CORDONES DE LA CERCHA.....	56
42. HIPÓTESIS DE VIENTO VH3 SOBRE LOS CORDONES SUPERIORES.....	56
43. HIPÓTESIS DE NIEVE N(EI) SOBRE LOS CORDONES SUPERIORES.....	56
44. PÓRTICOS NAVE PRINCIPAL EXPORTADOS.....	58



45. PÓRTICOS NAVE PRINCIPAL EXPORTADOS 2	59
46. VENTANA SELECCIÓN DE PLANO VISTA	60
47. VENTANA VISTA PLANO PÓRTICO	60
48. PÓRTICO 1	61
49. PÓRTICOS 2 Y 3	61
50. PÓRTICOS 4 – 7	62
51. VISTA PARCIAL NAVE COMPLETA	62
52. PÓRTICO 8	62
53. PÓRTICOS 9 Y 10	63
54. PÓRTICO 11	63
55. PÓRTICOS COMPLETOS	63
56. ARRIOSTRAMIENTO EN K	64
57. TIRANTES DE SAN ANDRÉS	65
58. ESTRUCTURA COMPLETA	65
59. DESCRIPCION DE APOYOS	66
60. DISPOSICION DE PERFILES	72
61. HIPÓTESIS ADICIONALES	73
62. HIPÓTESIS ADICIONALES 2	73
63. HIPÓTESIS ADICIONALES 3	73
64. PAÑO PARA CARGA EN EL FORJADO	74
65. CARGAS EN PAÑO	74
66. CARGA EN EL FORJADO	74
67. CARGAS DE VIENTO ADICIONALES 1	75
68. CARGAS DE VIENTO ADICIONALES 2	75
69. CARGAS DE VIENTO ADICIONALES 3	76
70. CARGAS DE VIENTO TOTALES	76
71. PANDEOS	78
72. PANDEOS 2	78
73. VENTANA DE SELECCIÓN DE CÁLCULO	79
74. VISTA DE COMPROBACIÓN DE BARRAS	80
75. VENTANA COMPROBACION PERFILES DE BARRAS	80
76. ESQUEMA UNION CRUZ DE SAN ANDRÉS	83
77. VENTANA DE COMPROBACIÓN DE TENSION	84
78. DIAGRAMA DE MOMENTOS EN Y	84
79. DIAGRAMA DE DEFORMADA	85
80. DIAGRAMA DE ENVOLVENTE DE LA FLECHA	86
81. DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES	86
82. VENTANA SELECCIÓN DE MATERIALES	87
83. SELECCIÓN OPCIONES DE PLACAS DE ANCLAJES	88
84. ESQUEMA DE PLACA DE ANCLAJE TIPO	88
85. POSICIONES DE CIMENTACIONES	89
86. SELECCIÓN DEL TIPO DE ZAPATAS	90
87. VIGAS DE ATADO	90
88. DISPOSICIÓN DE LAS VIGAS DE ATADO	91
89. DATOS DE DIMENSIONADO DE LA CIMENTACIÓN	91
90. DATOS DE VIGAS DE ATADO	92
91. DATOS DE LAS ZAPATAS AISLADAS	93
92. SELECCIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN	93



93. CIMENTACIÓN DIMENSIONADA.....	93
94. IGUALACIÓN DE ZAPATAS.....	94
95. DISTRIBUCIÓN DE CORREAS DE CUBIERTA.....	97
96. CERCHA INGLESA TIPO.....	98
97. VIGAS DEL FORJADO PARA OFICINAS.....	98
98. VISTA DE ARRIOSTRAMIENTOS LONGITUDINALES.....	99
99. VISTA DE ARRIOSTRAMIENTOS EN K.....	99
100. VISTA DE CRUZ DE SAN ANDRÉS.....	100
101. VISTA 3D DE UNA PLACA DE ANCLAJE.....	100
102. VISTA 3D DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	100
103. ESQUEMA COMPLETO DE LA ESTRUCTURA 1.....	101
104. ESQUEMA COMPLETO DE LA ESTRUCTURA 2.....	101



ÍNDICE DE TABLAS

1. HIPÓTESIS DE VIENTO.....	34
2. PERFILES DE CORREAS SELECCIONADOS.....	39
3. PANDEOS CTE.....	50
4. PERFILES SELECCIONADOS POR CYPE.....	52
5. RESÚMEN DE PESOS.....	54
6. PERFILES ESCOGIDOS.....	54
7. AGRUPACIONES DE BARRAS.....	68
8. PERFILES INICIALES.....	70
9. SELECCIÓN DE PERFILES DEFINITIVOS.....	81



I. INTRODUCCIÓN



1.1.- MOTIVACIÓN

En la actualidad, el término “nave industrial” inmediatamente es asociado a aquellos edificios destinados al desarrollo de actividades económicas pertenecientes a los sectores primario y secundario. Prácticamente cualquier persona es capaz de reconocer el diseño de una de estas estructuras de forma inmediata, lo que muestra la importancia que tienen en la sociedad actual.

Las naves industriales son la principal solución a la que se recurre cuando se necesita disponer de una estructura amplia, sólida y económica para albergar cualquier tipo de actividad del sector industrial. Un ejemplo de la importancia que estas estructuras tienen en el desarrollo de la economía de cualquier país se puede encontrar en el extrarradio de las grandes ciudades, donde grandes polígonos industriales se extienden en amplias zonas repletas de naves industriales.

De este modo, resulta evidente que el cálculo y el diseño de este tipo de construcciones es una gran parte de la carga de trabajo de los ingenieros industriales, y aunque pueda parecer un trabajo sencillo si se compara con otro tipo de edificaciones, no puede considerarse el diseño de una nave industrial como tal.

Los ingenieros industriales deben tener en cuenta el especial cuidado que se debe tener a la hora de diseñar las naves industriales, ya que éstas, deben cumplir con una serie de condiciones necesarias para que la actividad a la que están destinadas se desarrolle en condiciones óptimas. Es por esto por lo que el diseño de una nave industrial no puede considerarse algo sencillo, pues debe ser capaz de adaptarse a las necesidades del negocio y a las de los trabajadores.

Un aspecto importante a destacar es la gran variedad de diseños de nave industrial que pueden verse en cualquiera de los mencionados polígonos industriales. Muchas de ellas, incluso para un mismo uso, presentan soluciones constructivas diferentes. El motivo de esta variedad de diseños se debe a que las soluciones constructivas adoptadas dependen de cada ingeniero, de su experiencia previa y de sus preferencias. Esta es por tanto una de las características más representativas de las naves industriales: la variedad de soluciones posibles para un mismo proyecto.

Por todo esto, puede sacarse como conclusión inicial que una nave industrial tiene una importante carga de cálculo y diseño previa, nunca sencilla, y que requiere de una gran cantidad habilidades y conocimientos.

1.2.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS NAVES INDUSTRIALES

Cuando se habla del cálculo y el diseño de una nave industrial son muchas las variables y los casos que pueden encontrarse, por lo que se debe abordar el problema de forma que se garantice la eficacia resistente, constructiva y económica de la estructura. De este modo, se puede ser consciente de la gran complejidad de estos diseños, de su cálculo y su aplicación definitiva, lo que representa siempre un reto para los ingenieros industriales.



Una de las características principales de este tipo de edificios es la de que cubren grandes luces generalmente con cargas de origen gravitatorio pequeñas. Esto hace que las naves industriales posean la particularidad de que las cargas horizontales y los fenómenos de inestabilidad sean de especial importancia por la esbeltez de la estructura.

El diseño general del que se parte suele ser una estructura porticada de planta rectangular, con una separación entre pórticos de entre 5 y 7 metros. Igualmente debe considerarse el terreno del que se dispone para la edificación así como las variables externas propias de la localización geográfica de la estructura. De este modo, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos al diseñar una nave industrial:

- **Uso de la nave:** Resulta necesario considerar el uso de la nave de modo que se tenga en cuenta su adaptación a las instalaciones y los equipos necesarios para desarrollar la actividad económica a la que está destinada. Además siempre debe considerarse una eventual ampliación futura.
- **Elementos constructivos internos de la nave:** Otro de los aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar una nave industrial son las posibles modificaciones de su estructura interna, ya sea en forma de forjados para segundas plantas o de elementos auxiliares tales como puentes grúa. Además, se debe garantizar que el desarrollo de la actividad a la que está destinada se realice con la máxima seguridad, salubridad y confort posibles. Este es uno de los motivos por los que este tipo de estructuras suelen tener grandes alturas y espacios diáfanos.
- **Pendientes de los faldones:** La pendiente de las cubiertas suele ser uno de los puntos clave a la hora del diseño de una nave industrial, ya que esta afecta de forma considerable a la distribución de las cargas con las que trabajará la estructura. Debe considerarse que, cuanto mayor pendiente tenga la cubierta mejor trabajará la estructura ya que las cargas de nieve y agua se verán reducidas al resbalar éstas por los faldones. No obstante, si se aumenta la pendiente aumentará la resistencia al viento de la estructura, lo que incrementará considerablemente la exposición a grandes cargas puntuales. De este modo, los diseñadores suelen optar por pendientes de cubierta inferiores al 25%.
- **Confort climático:** La consideración de las condiciones climáticas del lugar donde se va a levantar la nave es un aspecto muy importante que los ingenieros industriales deben tener en cuenta a la hora del diseño. En función de la amplitud de la estructura, los materiales utilizados y las condiciones climáticas, se deben calcular las cargas térmicas del edificio para así poder diseñar un sistema de climatización que permita mantener unas condiciones óptimas para el correcto desarrollo de la actividad laboral.
- **Confort lumínico:** Se debe conseguir una iluminación en el lugar de trabajo adecuada, sin grandes contrastes ni generación de grandes sombras, a fin de garantizar unas condiciones seguras y óptimas de desempeño.

- **Materiales utilizados:** Este es uno de los factores determinantes a la hora del diseño de una nave industrial. La decisión de qué materiales y en qué combinaciones se utilizarán determinará los comportamientos mecánicos y térmicos de la estructura. Las naves industriales pueden ser metálicas, de hormigón o bien mixtas, donde se emplean ambos tipos de materiales para poder aprovechar las ventajas constructivas que nos ofrecen.
- **Precio:** Hay que tener en cuenta también el costo final de la construcción de la nave. Resulta evidente que cuanto más grande, robusta y confortable se diseñe, mayor será su precio final, por lo que es muy importante alcanzar un equilibrio entre calidad, prestaciones y precio. Quizá sea ésta una de las tareas en las que más tenga que trabajar el ingeniero.
- **Tipo de cubierta:** Una de las primeras cosas que debe plantearse el ingeniero es el tipo de configuración de cubierta que va a emplear en el diseño de la nave. Existen dos opciones básicas: pórticos rígidos o cerchas.

Las cerchas, al contrario que los pórticos rígidos, otorgan ventajas a los pilares y a la cimentación, ya que van articuladas sobre la cabeza de los pilares y por tanto no transmiten esfuerzos flectores. No obstante, las cerchas generan una serie de inconvenientes debido a su diseño, ya que por un lado reducen el espacio útil debido a que su cordón inferior va entre cabezas de pilares y por otro lado su cálculo y montaje encarecen la estructura. Es por esto por lo que generalmente se suelen utilizar las cerchas cuando las dimensiones de la estructura general grandes cargas que son difíciles de gestionar mediante pórticos rígidos tradicionales.

A continuación se muestran los principales tipos de cerchas empleados (Figuras 1-7):

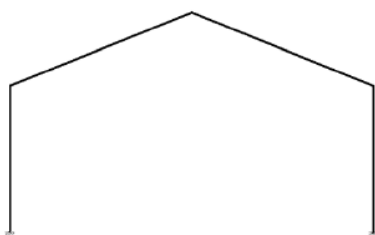


Figura 1. Pórtico Rígido

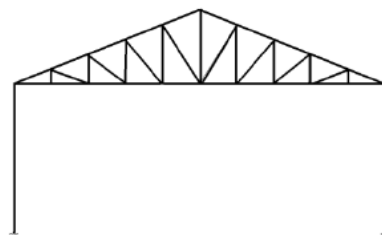


Figura 2. Cercha Americana

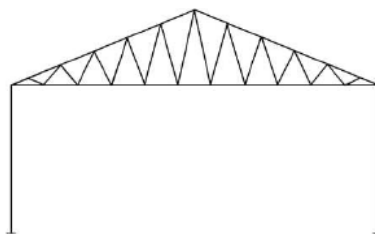


Figura 3. Cercha Belga

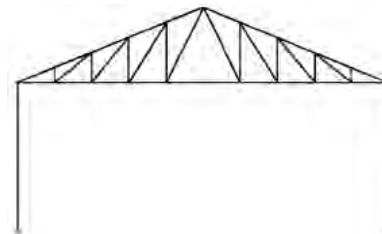


Figura 4. Cercha Inglesa

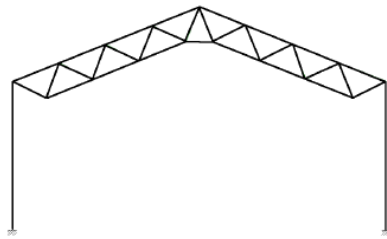


Figura 5. Viga en Celosía

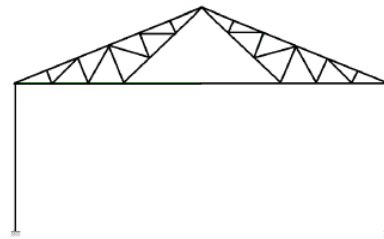


Figura 6. Polonceu Recta

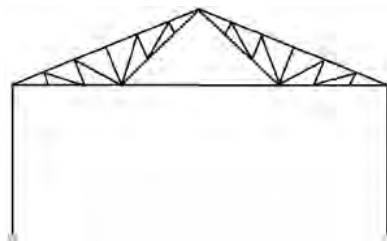


Figura 7. Polonceu Recta Invertida

A parte de las soluciones para el diseño de cubiertas presentadas, se deben tener en cuenta también la posibilidad de utilizar perfiles de sección variable, los cuales se caracterizan por que las inercias se van adaptando a las necesidades del perfil a lo largo de la longitud de las vigas. Esta es una solución que suele aplicarse para naves con grandes dimensiones.

1.3.- OBJETIVOS A ALCANZAR

El principal objetivo del presente proyecto es el de desarrollar el cálculo, diseño y optimización de una nave para uso industrial considerando la normativa vigente CTE (Código Técnico de la Edificación) y utilizando para ello el código comercial CYPE Ingenieros.

Los objetivos teóricos ingenieriles perseguidos mediante la realización del presente proyecto son el aprendizaje y comprensión de los siguientes conceptos:

- Diseñar con criterio la estructura de una nave industrial.
- Escoger y calcular la cubierta metálica compleja más adecuada para los requerimientos de la nave diseñada.
- Manejar correctamente la herramienta informática de cálculo estructural CYPE, principalmente de sus módulos “Generador de Pórticos” y “Nuevo Metal 3D”.
- Calcular y comprender el comportamiento y el diseño de elementos básicos estructurales como pilares, vigas metálicas y zapatas de cimentación.



- Comprender las distribuciones de las cargas variables de viento y nieve y así poder aplicarlas en la combinación de dos estructuras separadas, para las cuales el software informático no tiene respuesta.

Para poder desarrollar y alcanzar todos estos objetivos deben tenerse en cuenta las siguientes actividades necesarias:

- Establecer un diseño considerando la posibilidad real del montaje final.
- Optimizar económicamente el proyecto mediante un diseño con criterio.
- Adaptar la estructura final a las necesidades de la actividad a la que está destinada.

Con todo esto, se logrará desarrollar el presente proyecto académico y podrán alcanzarse todos los objetivos finales propuestos.

1.4.- NORMATIVA APLICABLE

Para el correcto desarrollo del presente proyecto se han consultado una serie de normas y códigos técnicos oficiales a bien de cumplir con todos los requerimientos y exigencias legales impuestos por los diferentes órganos administrativos.

A continuación se enumerarán todas aquellas normas y códigos que se han aplicado a lo largo del proyecto, así como una breve descripción de las mismas.

- **Código Técnico de la Edificación (CTE).** Este código establece todas aquellas exigencias mínimas que deben cumplir todos los edificios construidos en territorio español. Su estricto cumplimiento garantiza la seguridad y habitabilidad de la estructura, la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente.

Este documento, cuya versión utilizada para el proyecto es la de 2006, agrupa las ya suprimidas Normas Básicas de la Edificación (NBE), las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) y las Soluciones Homologadas de la Edificación (SHE).

El CTE fue aprobado por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) 38/1999 del 5 de noviembre. El 6 de mayo del año 2000 fue la fecha en la que entro en vigor.

Para la realización del presente proyecto se han aplicado principalmente los siguientes documentos del CTE:

- *BD-SE.* Documento básico. Seguridad Estructural.
- *DB-SE-AE.* Documento básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.



- **DB-SE-A.** Documento básico. Seguridad Estructural. Aceros.
- **EHE.** Instrucción de hormigón estructural. Real Decreto 2661/1998 del 11 de diciembre, modificado por el Real Decreto 996/1999 del 11 de junio.

Esta norma es aplicable a todas las estructuras y elementos de hormigón, incluido el hormigón en masa, armado y pretensado, así como hormigones especiales.

- **Eurocódigo 3.** Proyecto de Estructuras de Acero. Se trata de normativas a nivel Europeo, que engloban una serie de pautas a aplicar para seguir adecuadamente las diferentes normativas nacionales. Es una guía para las normas.

1.5.- ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.

El presente proyecto se compone de 10 capítulos, los cuales tratan sobre los siguientes aspectos:

- **Capítulo I.** En este capítulo se realiza una introducción al proyecto, explicando las características generales del mismo, el objetivo que persigue y la normativa a la que está sujeto.
- **Capítulo II.** En el segundo capítulo se explica en líneas generales el diseño básico y las características principales de la nave industrial, analizando su utilización final, ubicación geográfica y geometría básica.
- **Capítulo III.** En esta parte del proyecto se explica de forma resumida la metodología de cálculo que se seguirá para el diseño de la nave industrial mediante el software comercial CYPE.
- **Capítulo IV.** En el capítulo IV se realizará el cálculo y diseño de la estructura, analizando, explicando y justificando tanto los pasos dados con el CYPE como los resultados obtenidos.
- **Capítulo V.** Se recogen de forma resumida los pasos dados en el proceso, el diseño final y los resultados obtenidos.
- **Capítulo VI.** Éste capítulo estará dedicado a la creación de un presupuesto básico inicial de estimación de costos de la construcción de la estructura.
- **Capítulo VII.** En el capítulo VII se analizarán las conclusiones finales, así como los posibles trabajos a los que puede dar lugar el presente proyecto.
- **Referencias Bibliográficas.** Este capítulo recoge todas las referencias bibliográficas consultadas durante la realización del presente proyecto.
- **Anejos.** Se recogen todos los anejos del proyecto, incluidos resultados de cargas, dimensiones, comprobaciones, etc.



- **Planos.** En este último capítulo se recogen los diferentes planos de la estructura tanto metálica como de hormigón, incluyendo los planos de la cimentación de la nave.



II. CARACTERÍSTICAS DE LA NAVE.

2.1.- TIPOLOGÍA DE USO

La actividad industrial a la que está destinada la nave desarrollada en el presente proyecto es la de alojar una fábrica destinada al mecanizado de todo tipo de materiales, siendo sus principales clientes grandes fábricas de ensamblado de productos mecánicos.

Se tiene previsto disponer de una zona frontal con oficinas para las tareas de gestión, diseño y venta, con la zona de fabricación en la parte posterior.

Además, se dispondrá de una nave almacén anexa a la nave principal donde, debido a las necesidades, se utilizará como muelle de embarque y recepción de mercancías así como de almacenamiento y preparación de los productos.

2.2.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La localización escogida para la construcción de la estructura es en la localidad de Getafe en la Comunidad de Madrid. La elección de este municipio se debe principalmente a los grandes polígonos industriales que posee en su periferia y en los que acoge a grandes empresas multinacionales de fabricación y ensamblaje de elementos mecánicos.

De los varios polígonos industriales de Getafe se ha escogido el Pol. Industrial “Las Mezquitas” dada su cercanía a grandes factorías como la de EADS Airbus.

Los clientes consideran que este emplazamiento es el idóneo para poder asentar una buena cartera de clientes.



*Figura 8. Getafe. Polígono Industrial “Las Mezquitas”. Madrid.
Fuente: <https://www.google.es/maps/>*

2.3.- GEOMETRÍA BÁSICA DE LA ESTRUCTURA

En relación a las características geométricas y arquitectónicas seleccionadas como punto de partida para el diseño, tenemos lo siguiente:

2.3.1.- Geometría de la nave principal

- Las dimensiones de la nave principal en planta son de 30x70 metros.
- La nave consta de 11 pórticos a dos aguas espaciados 7 metros entre sí.
- Los pórticos son simétricos respecto al eje vertical y tendrán una altura en cumbrera de 11.02 m y de 7 m en los laterales (con 15° de caída).
- La cubierta de la estructura será metálica de perfiles laminados y conformados.
- Los pilares de sustentación serán de perfil metálico.
- Dispondremos de varios tipos de geometría de cercha cuya localización dependerá de las distintas zonas de la nave. No obstante, la geometría básica seleccionada será la de Cercha Inglesa (en capítulos posteriores se justifica ésta decisión).
- En el interior de la nave, junto a la fachada exterior se dispondrá de un forjado para oficinas a 3.5 m de altura.
- La cimentación de la estructura estará basada en zapatas cuadradas aisladas, ya que estas son las más comunes para las naves industriales. Las vigas de atado para las zapatas también serán de hormigón armado.
- El cerramiento de cubierta de la estructura estará formado por panel tipo sándwich de 80 mm de espesor y un peso de 0,24 kN/m².
- El cerramiento lateral de la estructura estará formado por placas de hormigón aligerado prefabricadas, las cuales se anclarán sobre los propios perfiles metálicos de los pilares. La distribución geométrica de las placas de hormigón será en horizontal por motivos de estabilidad dinámica (en los siguientes capítulos se detallarán los motivos de esta elección).
- La nave constará de multitud de huecos (especificados durante los cálculos) que afectarán al comportamiento dinámico de la estructura. Estos huecos pueden verse en el Anejo C del presente documento.

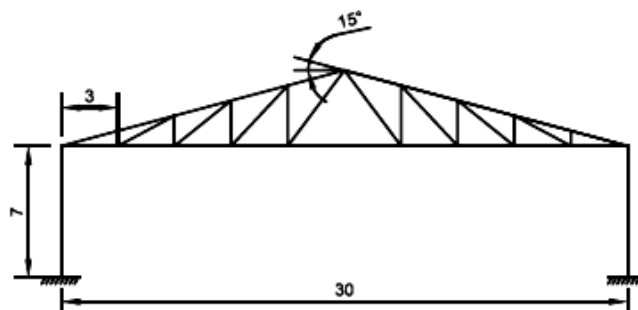


Figura 9. Pórtico tipo nave principal.

2.3.2.- Geometría de la nave almacén

- Las dimensiones de la nave auxiliar “almacén” en planta serán de 21x20 metros.
- La nave se resolverá mediante 4 pórticos a dos aguas espaciados 7 metros entre sí.
- Los pórticos serán simétricos respecto al eje vertical y tendrán una altura en cumbre de 9.68 m y de 7 m en los laterales (con 15° de caída).
- En cuanto al resto de características de la nave auxiliar, se coincide con la nave principal (cubierta, pilares, tipología de cercha, cimentaciones, y cerramientos). En el caso de la nave almacén, los huecos son especialmente significativos al disponer de grandes puertas para el acceso de los camiones de mercancías.

De este modo, tenemos perfilado una primera imagen de las características geométricas principales de la estructura. En los sucesivos capítulos se irán definiendo con mayor detalle cada uno de estos aspectos.

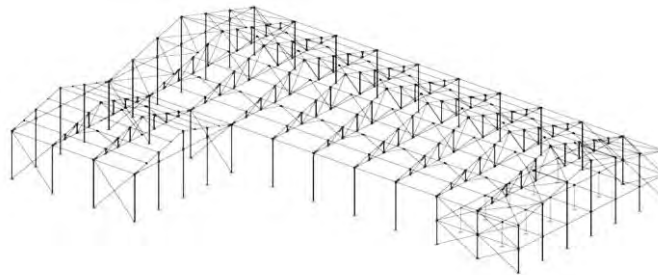


Figura 10. Esquema general estructura de la nave.

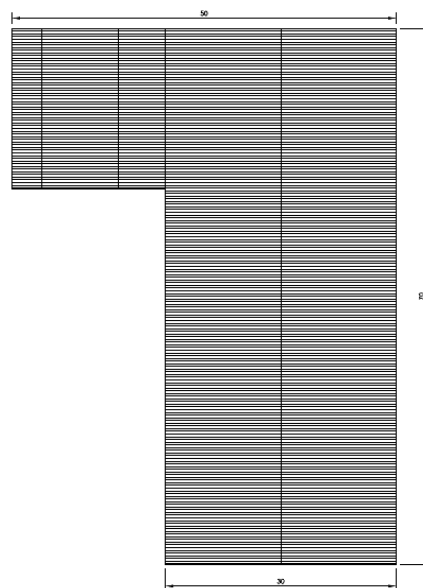


Figura 11. Planta de la nave.



III. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL CÁLCULO



3.1.- HERRAMIENTAS DE CÁLCULO. SOFTWARE CYPE.

Para la realización de este proyecto se ha utilizado, como ya se ha mencionado anteriormente, la herramienta de cálculo estructural CYPE INGENIEROS, versión estudiantes 2012.a.

El CYPE es una aplicación informática muy extendida y reconocida en el mundo de la ingeniería para el cálculo de todo tipo de proyectos relacionados con la edificación y la obra civil. Esta herramienta utiliza métodos matriciales para calcular de forma más o menos sencilla y fiable el dimensionamiento y optimización de estructuras previamente dibujadas en un entorno CAD propio del mismo software.

Este programa no es una herramienta en sí, si no que está dividido en varios subprogramas o “módulos” cada uno de los cuales sí representa una herramienta para una aplicación concreta. Teniendo en cuenta todos estos programas en conjunto podemos desarrollar cualquier proyecto que requiera una combinación de diferentes tipos de cálculo.

Los principales módulos del CYPE son:

- **CYPECAD.** Este módulo está pensado para el cálculo y diseño de estructuras de hormigón y algunas metálicas sencillas. La principal utilidad de este módulo está en el cálculo de estructuras de edificación.
- **Metal 3D Clásico.** Con este módulo de CYPE podemos calcular y optimizar cualquier estructura metálica con las condiciones de carga previamente definidas.
- **Nuevo Metal 3D.** Este módulo es una ampliación del Metal 3D Clásico, con nuevas funciones y una interfaz más sencilla.
- **Generador de Pórticos.** Este módulo permite la creación de pórticos de forma sencilla para su posterior exportación a otros módulos. Entre sus funciones destaca la creación de las correas de cubierta y laterales y la generación de todas las hipótesis de cargas variables de viento y nieve.
- **Instalaciones.** Permite calcular, dimensionar y optimizar cualquier tipo de instalación de baja tensión, incluyendo sistemas de climatización.
- **Elementos Estructurales.** Con este subprograma podremos diseñar y calcular cualquier subelemento necesario para edificaciones, tales como: escaleras, losas, ménsulas, muros de sótano, vigas de gran canto, etc.
- **Elementos de contención.** Permite el cálculo, diseño y comprobación de elementos de contención tales como muros en ménsula de hormigón armado o muros pantalla.

- **Generadores de presupuestos.** Este módulo nos permite generar los presupuestos de cualquier tipo de estructura de edificación.

Aunque se han mencionado los principales módulos del CYPE aún hay muchos otros que nos permiten realizar todos los cálculos o generar todos los documentos necesarios para el desarrollo y finalización de cualquier proyecto de obra civil (figura 12).



Figura 12. Ventana principal software CYPE.

De este modo, el software comercial CYPE INGENIEROS permite el cálculo de modelos de obras muy complejos, pudiendo realizar los cálculos para regímenes elásticos lineales y no lineales o régimen plástico. A su vez se pueden realizar los cálculos tanto estáticos como dinámicos (en caso de considerar acciones sísmicas).

Uno de los principales aspectos a destacar de este software es la posibilidad de realizar todos los proyectos acordes a diferentes normativas, tanto actuales (CTE) como derogadas (NBE-EA-95) e incluso normativas europeas.

Durante el desarrollo del presente documento, especialmente en el capítulo en el que se diseña y calcula la estructura, se irá explicando y profundizando en aquellos módulos y funciones que sean necesarios de CYPE INGENIEROS.

3.2.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

En este apartado se resumirán todos los pasos que se han seguido en el diseño y en el cálculo de la nave industrial y la justificación de algunas de las soluciones que han sido seleccionadas.

Aquellos aspectos más detallados pueden consultarse en el capítulo III del presente documento que acomete el cálculo y diseño de la nave industrial.

Por tanto, el propósito de este punto no es otro que la de presentar una vista general de los cálculos que se han realizado y el orden de los mismos.

3.2.1.- Elección de las dimensiones.

En esta sección se justifican las dimensiones tanto de las naves como de los pórticos que las conforman.

En primer lugar, se han escogido unas dimensiones en planta de la nave principal de 30x70 metros. Esto se debe a que se ha considerado tanto el uso posterior de la nave como el volumen de negocio presumible que se desea obtener, por lo que es necesario disponer de unas instalaciones suficientemente amplias para cubrir la demanda.

Teniendo en cuenta esto, y atendiendo a que la separación ideal entre pórticos debe estar entre 5 y 7 metros, hemos determinado disponer de 11 pórticos separados entre ellos 7 metros de forma que se tenga la mayor simetría posible (dados los 70 metros de profundidad de la nave).

Para poder establecer la altura de la nave principal se ha tenido en cuenta el uso de la misma, y considerando el tamaño de los centros de mecanizado más actuales (máquinas tipo transfer) así como el espacio necesario para instalaciones auxiliares neumáticas e hidráulicas y elementos contra incendios, se ha seleccionado una altura de pilares de 7 metros y una altura hasta la cumbrera de cubierta de 11,02 metros.

Uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta a la hora de determinar estas medidas de los pórticos ha sido la pendiente de cubierta que era necesaria. Como ya se comentó en el Capítulo I cuando se hablaba de las características generales de las naves industriales, la pendiente generalmente debe ser menor del 25% teniendo en cuenta las cargas variables que tendremos, principalmente la del viento. No obstante, es cierto que las estructuras abovedadas tienen una mejor distribución del peso de la cubierta, por lo que en este caso, debido al tamaño de las cerchas, es justificable tener una pendiente ligeramente mayor del 25%. Es por esto por lo que hemos seleccionado una altura hasta cumbrera de 11,02 metros, ya que permite disponer de una pendiente de los faldones del 26,8% (15° de ángulo de inclinación) distribuyéndose así mejor el peso de la cercha sobre los pilares pero sin perjudicar en exceso las cargas por viento.



La idea inicial a la hora de determinar el diseño de las cerchas era de utilizar pórticos a dos aguas sin pilares intermedios, para así favorecer la capacidad de distribuir los centros de mecanizado por la fábrica sin interposición de pilares. Esto deja pórticos a dos aguas de 30 metros de luz, que aunque pueda resultar una solución más cara por incrementarse el tamaño de las vigas que lo conforman, se asume el sobre coste a favor de una mejor utilización posterior de las instalaciones.

Ante la necesidad de disponer de una zona de oficinas para gestionar la fábrica se ha dispuesto de un forjado entre los tres primeros pórticos de la nave para albergar una doble planta. Esto hace que estas cerchas sean diferentes a las del resto de la estructura, pero de disposición muy similar, por lo que la complejidad no se ve incrementada en exceso.

Además de la nave principal, como ya se ha comentado, se dispone de una nave auxiliar adosada para uso de almacén y de recepción/envío de las mercancías. Esta nave auxiliar tendrá una disposición muy similar a la nave principal pero considerando las dimensiones reducidas.

De este modo, se dispone de 4 pórticos a dos aguas espaciados 7 metros entre sí, de modo que estos queden “unidos” a los 4 últimos pórticos de la nave principal. La luz de los mismos es de 21 metros, por lo que se dispone de una nave de 21x20 m.

Los pórticos de la nave auxiliar son simétricos respecto al eje vertical y tienen una altura en cumbrera de 9.68 m y de 7 m en los laterales (para poder mantener la pendiente marcada en la nave principal se reduce la altura de cumbrera).

Finalmente, atendiendo a la configuración señalada, se dispone de una nave principal constituida por una planta de 30x70 m con una nave auxiliar anexa de 21x20m de panta, lo que otorgará finalmente una superficie de 2100 m² para uso industrial y de 840 m² (divididos en dos plantas) para uso de oficinas. En total se dispone de 2940 m² de superficie útil en el presente proyecto.

3.2.2.- Características del cerramiento.

Para la nave industrial se ha seleccionado un cerramiento lateral consistente en placas de hormigón aligerado prefabricadas. La elección de este material para el cerramiento se basa en la facilidad de montaje combinada con una buena relación entre las prestaciones y el precio de las mismas. Esto convierte a este tipo de solución como una de las más utilizadas actualmente en la industria.

Estos paneles poseen una gran variedad de características mecánicas, como por ejemplo: el peso, el acabado, la resistencia al fuego, facilidad de montaje, capacidad de carga, aislamiento térmico y acústico, etc. Estas características en combinación con la reducción de plazos de montaje y la rapidez de fabricación las hacen especialmente atractivas para este tipo de aplicaciones.

El montaje de estos elementos se realizará de forma horizontal para que estos paneles ofrezcan mayor capacidad de carga y facilidad de colocación. Aunque se tiene la necesidad de incorporar a los pilares unas guías que sirvan de sujeción para los paneles, el hecho de disponer de pilares metálicos con perfil en H evita tener que modificar o pedir al proveedor pilares especiales que contengan estas guías verticales.

No obstante, para que el ajuste de las placas de hormigón sea el adecuado es necesario macizarlo mediante sellantes hidrófugos sobre todo si estos van a estar expuestos al ambiente exterior. Debe tenerse en cuenta por tanto el grosor del panel a utilizar y el ancho de la ranura de la viga metálica para incorporar pletinas o redondos y centrar y sellar los cerramientos laterales.

Las placas inferiores estarán apoyadas sobre la superficie de cimentación y de las vigas de atado.

3.2.3.- Acciones consideradas para el cálculo de la estructura.

Todas aquellas acciones externas que se considerarán para el cálculo de la estructura serán aquellas que se contemplan en el Código Técnico de la Edificación. Según esta norma, las acciones a considerar son las siguientes:

- **Acciones permanentes.** Se trata de todas aquellas acciones que se considera que actúan de forma permanente sobre la estructura independientemente del estado de carga al que se encuentra sometida. Podemos distinguir los siguientes tipos de cargas permanentes:
 - *Peso Propio:* Se trata de la carga procedente del peso de los elementos resistentes.
 - *Acciones del terreno:* Cargas producidas por el empuje del terreno sobre aquellas partes de la estructura que se encuentren en contacto con él. Para nuestros cálculos no tendremos en cuenta este tipo de acciones.
- **Acciones variables.** Se consideran como acciones variables aquellas que pueden modificar su incidencia sobre la estructura dependiendo de la situación.

Podemos distinguir los siguientes tipos de cargas variables:

- *Viento:* Carga procedente de las presiones y succiones del viento sobre la estructura.
- *Nieve:* Carga debida al peso de la nieve acumulada sobre las superficies de la cubierta.

- *Acciones térmicas:* Acciones debidas a las variaciones de temperatura que provocan expansiones y contracciones de los elementos estructurales. En este caso concreto no se tendrán en cuenta estas cargas ya que aunque se tenga una nave de dimensiones considerables, las variaciones térmicas no se consideran lo suficientemente bruscas como para generar grandes deformaciones. No obstante, en caso de ser necesario, pueden utilizarse juntas de dilatación o divisiones de la estructura completa en bloques independientes para aislar el efecto de las acciones térmicas.
 - *Sobrecarga de uso:* Sobrecarga debida al peso de los elementos que pueden gravitar durante el uso de la nave. La norma indica una serie de valores en función del uso que vaya a tener la estructura. Un ejemplo muy claro para nuestra nave en concreto es el uso de la planta superior de oficinas, que generará una carga sobre el forjado.
- **Acciones accidentales.** Se consideran como acciones accidentales aquellas que ocurren de manera inesperada.

Dentro de esta clasificación se encuentran las acciones debidas a sismos, incendios, impactos, etc.

Para el presente caso no es necesario aplicar las acciones de sismos, ya que según la norma sismorresistente NCSE-02, no es necesario para construcciones de moderada importancia (aquellas con una probabilidad despreciable de que su destrucción por terremoto ocasione víctimas, interrupción de un servicio primario o producir daños económicos a terceros). Puesto que la nave se construirá en una zona de muy baja actividad sísmica no tiene sentido considerar estas acciones ya que aumentaría los tiempos y la complejidad de los cálculos y agrandaría los costes.

3.2.4.- Elección y cálculo de las correas de cubierta.

A la hora de escoger el tipo de correas de cubierta se utilizará el módulo de CYPE “Generador de Pórticos”. De este modo, se crea el pórtico base del cual se parte para generar luego las distintas cerchas, especificando la separación entre pórticos que se ha determinado en la sección de descripción geométrica y las diferentes acciones de viento y nieve.

En este módulo se estudiarán diferentes tipos de correas de modo se pueda escoger de entre aquellas que cumplan con las comprobaciones la que infiera menor carga gravitatoria sobre la estructura considerando además otros factores fundamentales.

3.2.5.- Elección y cálculo de cubierta.

Este es uno de los aspectos críticos a la hora de diseñar una estructura para una nave industrial, ya que en función del tipo de cubierta que se escoja, el comportamiento mecánico del edificio será uno u otro, y la influencia de la elección sobre el coste final de la obra es muy significativa.

Atendiendo a las dimensiones requeridas para la planta de la nave, en un principio ya se descartó el uso de una cercha horizontal ya que éstas tienen una serie de inconvenientes que se ven agravados a medida que aumentamos la luz del pórtico:

- El hecho de que la cubierta no tenga pendiente dificulta enormemente la evacuación natural del agua y la nieve, por lo que la acumulación de estos elementos puede provocar problemas de estabilidad y deformación de la estructura.
- El uso de cerchas horizontales implica un sobredimensionamiento extra debido al problema de acumulaciones anteriormente comentado, por lo que se utiliza material en exceso sin que esto sea necesario. Con cerchas triangulares este problema desaparece ya que se utilizará más material solo en aquellas zonas donde los esfuerzos así lo requieran.

De este modo, se escoge una cercha triangular para nuestra estructura ya que es la que mejor se adapta a las necesidades reales.

Hay que tener en cuenta que, aunque el uso de cerchas triangulares facilita la distribución de cargas sobre los pilares de la estructura, estas generan cargas cortantes muy elevadas en los extremos de la cercha, por lo que debemos ser conscientes que en estos puntos hay que reforzar la estructura.

Una vez se ha determinado que el mejor diseño para la nave industrial es la cercha triangular se debe escoger el tipo de configuración de cercha triangular (inglesa, americana, etc.). Para poder decidir cuál es la que mejor se adapta a la estructura debe considerarse uno de los aspectos que, debido a las dimensiones, más nos influyen en la toma de decisiones: la optimización. Para llevar a cabo esta tarea, se estudian diferentes configuraciones con el “Generador de Pórticos” y el “Nuevo Metal 3D” y se selecciona aquella cercha que combine resistencia y bajo peso en la mejor medida.

De este modo, una vez seleccionada la configuración a dos aguas y el tipo de cercha triangular se procede a generar la estructura básica con el “Generador de Pórticos” y a añadir los elementos adicionales de las cerchas y de la estructura de arriostramiento longitudinal de la cubierta.

Así pues, hasta este momento se tiene calculada la estructura metálica al completo, teniendo en cuenta en cada uno de los pasos los parámetros que son necesarios definirle al software CYPE para que este lleve a cabo el dimensionamiento lo más ajustado posible.

3.2.6.- Cálculo de la cimentación.

Como último paso, se calculará la cimentación de la estructura utilizando uno de los entornos disponibles en “Nuevo Metal 3D” para ello. Se tendrán en cuenta una serie de consideraciones que se detallarán en el capítulo correspondiente.

De forma resumida, para la cimentación de la nave se ha optado por la solución más común para este tipo de estructuras: zapatas cuadradas aisladas y atadas entre sí por vigas carrileras armadas.

Esta configuración de la cimentación permitirá colocar los cerramientos laterales escogidos y consistentes, como ya se ha comentado anteriormente, en placas de hormigón aligerado prefabricadas.

3.2.7.- Predimensionado y verificación de la estructura.

El proceso de predimensionado y verificación se ha ido realizando en casi todos los pasos dados durante el diseño de la estructura, ya que el software CYPE permite ir realizando todas las comprobaciones necesarias que eviten tener que modificar alguno de los aspectos de la estructura cuando los cálculos estén en fases más avanzadas. No obstante, a medida que se realizaban estas comprobaciones con la herramienta informática se han ido comprobando y valorando que estos resultados se corresponden con la realidad y que tiene sentido considerarlos como válidos, ya que el trabajo de cualquier ingeniero es tener la capacidad de decidir si un cálculo hecho con un ordenador es extrapolable a las necesidades y capacidades reales.

De esta forma, se han ido realizando algunos cálculos analíticos o valoraciones para poder tener un orden de magnitud aproximado de los resultados en torno a los que deben estar los dados por el software CYPE. Estos predimensionamientos sirven por tanto de punto de partida para determinar los parámetros a introducir en el programa como para valorar los resultados que éste ofrece.

En el presente proyecto, los principales cálculos previos realizados han sido de los siguientes elementos:

- Posibles combinaciones de hipótesis de cargas. Se han valorado los posibles resultados de combinaciones de cargas debidas a las acciones variables sobre la estructura, comparándolas con las obtenidas con el CYPE.
- Cercha triangular. Se ha predimensionado este elemento aplicando el método de los nudos para la resolución de estructuras articuladas teniendo en cuenta uno de los estados de cargas más desfavorables.
- Las zapatas cuadradas de la cimentación. Se desarrollarán las comprobaciones de una zapata cuadrada tipo considerando lo establecido en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.



IV. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Durante este cuarto capítulo se desarrollarán todos los cálculos realizados tanto con el software comercial CYPE como de forma analítica a modo de predimensionamientos. Principalmente se explicará detalladamente todos los pasos realizados con el código comercial para dejar perfectamente determinado el camino seguido a la hora de diseñar y calcular la estructura.

En aquellos elementos en los que se ha decidido realizar algún tipo de cálculo analítico se expondrá con el máximo detalle posible cada uno de los pasos dados con sus debidas justificaciones.

Este capítulo del proyecto expondrá todo el proceso que se ha llevado a cabo en la realidad para poder concluir el diseño de la nave, de modo que se mostrará en cada momento las consideraciones realizadas y las dificultades encontradas a lo largo del mismo.

Para poder consultar todos los resultados detallados obtenidos, así como planos y bocetos, se puede acudir al apartado de ANEXOS del final del presente documento.

4.1.- GEOMETRÍA DE LOS PÓRTICOS. CORREAS DE CUBIERTA.

Antes de comenzar a introducir todos los parámetros necesarios para definir correctamente las correas de cubierta definiremos brevemente qué son y sus características principales.

Se considera correa de cubierta a todos aquellos elementos encargados de soportar el peso del cerramiento superior de una nave industrial, de modo que estas transmitan el peso del mismo a las propias cerchas las cuales a su vez lo transmitirán a los pilares que finalmente lo transmiten a la cimentación. Además, una de sus utilidades es la de ligar o arriostrar los pórticos fuera de su plano.

Además de las correas de cubierta existen otro tipo de correas encargadas de soportar el peso del cerramiento lateral: las correas laterales. Para este proyecto en concreto no es necesario emplear este tipo de elementos ya que el uso de un cerramiento lateral mediante placas prefabricadas de hormigón evita la necesidad de montarlos. No obstante, se han utilizado elementos de arriostramiento lateral del tipo “Cruz de San Andrés” en determinados puntos de la estructura.

4.1.1.- Generador de pórticos.

Para el dimensionado de las correas de cubierta y la generación de las cargas actuantes sobre la estructura, se utilizará el módulo “Generador de Pórticos” de CYPE Ingenieros 2012 versión estudiantes.

El programa utiliza un modelo de viga continua con un número de tramos variable, que para este caso concreto es de 3 o más vanos. Para calcular las tensiones y los desplazamientos (flechas) utilizará todos los métodos previstos en el “Código Técnico de la Edificación” CTE.

Para la comprobación de las correas de la estructura se tendrá en cuenta las tensiones y las flechas máximas. De este modo las correas se comprueban tanto para el “Estado Límite Último” (E.L.U) como para el “Estado Límite de Servicio” (E.L.S.). Se tendrá también en cuenta el efecto del pandeo lateral para aquellos perfiles laminados, además del efecto de combadura y abolladura para los perfiles conformados.

Una de las restricciones del “Generador de Pórticos” es que únicamente permite crear estructuras con pórticos paralelos y equidistantes. No obstante, para nuestro caso concreto no supone ningún problema ya que la configuración de nuestra nave industrial presenta estas características.

Gracias a este módulo de CYPE, se podrá optimizar el perfil adecuado para las correas, además de proporcionar la separación óptima con las necesidades especificadas.

Una vez ejecutamos el programa (figura 13):

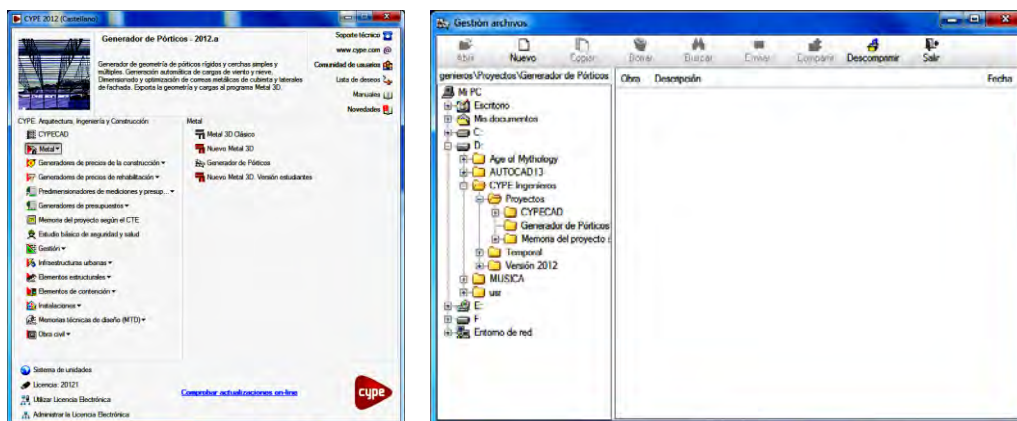


Figura 13. Ventana inicial del “Generador de Pórticos”.

Crearemos una nueva obra con el “Generador de Pórticos” (figura 14):

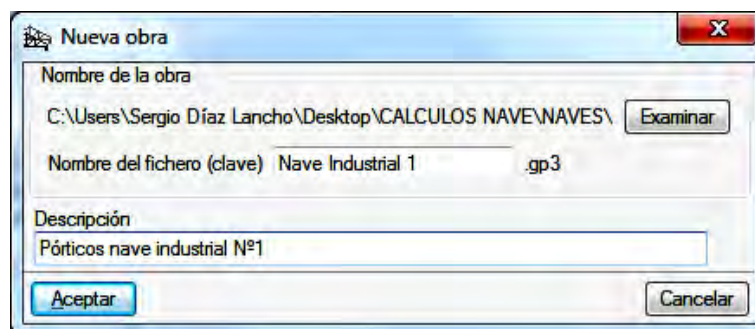


Figura 14. Ventana de guardado.

4.1.2.- Introducción de datos y cargas.

A continuación se introducen los datos de la obra (Número de pórticos de que consta la nave, la separación entre vanos, el peso del material de cubrición y la normativa aplicable para la generación de cargas de viento y de nieve).

- **Número de Vanos.** Se introducirán un número total de 10 vanos (11 pórticos) con una separación entre vanos de 7 metros (como ya se indicó en el anterior capítulo).
- **Cerramiento en cubierta.** Se utilizará un cerramiento en cubierta formado por paneles sándwich de 80 mm de espesor y un peso de $0,24 \text{ kN/m}^2$, del tipo que puede verse en la figura 15.



Figura 15. Paneles tipo Sándwich.

Fuente: <http://isotermia.blogspot.com.es>

No se considerará la sobrecarga del cerramiento, ya que se sabe que esta sobrecarga de uso es muy inferior al resto de cargas variables actuantes sobre el cerramiento, y los fabricantes recomiendan prescindir de esta acción para estos casos ya que apenas influirá en los resultados pero aumentaría el tiempo de cálculo.

No obstante cabe decir que en caso de aplicación, el CTE en el documento básico DB-SE-AE explica en la tabla 3.1 los valores característicos de las sobrecargas de uso, que para este caso ("Cubierta accesible solo para conservación inferior a 20° de inclinación) correspondería un valor de $0,4 \text{ kN/m}^2$.

- **Cerramiento lateral.** Como ya se ha comentado, al no considerar la existencia de correas laterales no se indicará ningún tipo de sobrecarga asociada a un cerramiento sobre estas correas.

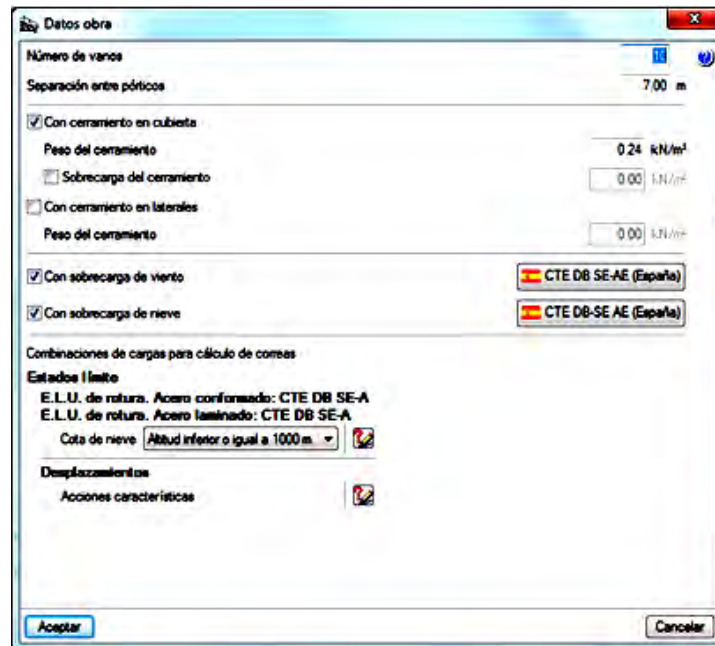


Figura 16. Introducción de datos de la obra.

- **Viento:** Para la sobrecarga de viento se selecciona la normativa de cálculo española del CTE-DB-SE-AE en su sección 3.3. Considerando las siguientes características de la zona eólica donde se localiza la estructura:
 - Zona eólica A (velocidad básica de 26 m/s) con un grado de aspereza IV (correspondiente a zonas urbanas, industriales o forestales).
- **Vida útil.** Se determinará también un periodo de servicio de la estructura de 60 años.

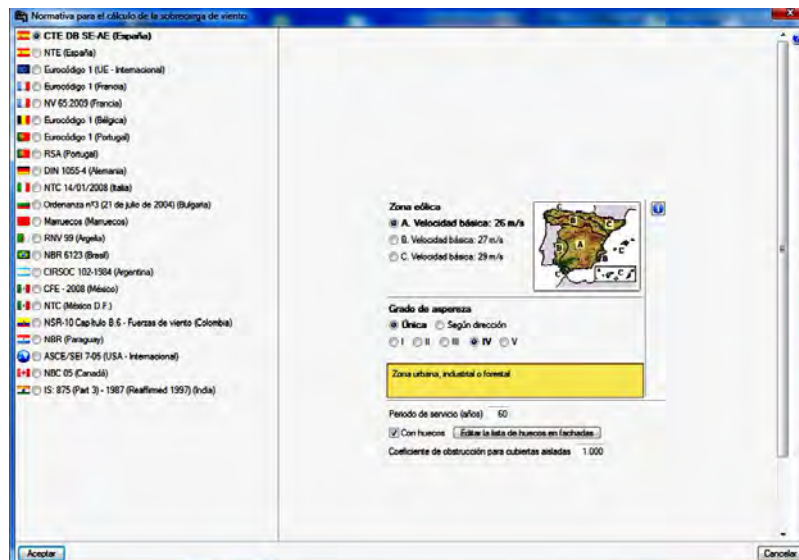


Figura 14. Zonas eólicas.

- **Huecos:** La determinación de los huecos es muy importante a la hora de valorar las acciones sobre la estructura, ya que en función de la geometría de éstos se tendrá una sobrepresión o una depresión interior. Estas condiciones generarían una serie de cargas diferentes para cada cara de la nave industrial, con lo que habría que sumarlas algebraicamente a las acciones exteriores del viento y así obtener unos valores definitivos.

Para el cálculo de los huecos de la estructura, se especificarán las dimensiones y la altura del centro geométrico de los mismos para que el programa pueda determinar la presión interior (figura 18). A su vez, debe indicarse si estos huecos permanecerán abiertos de forma permanente o no; ya que el programa, en caso de que sean huecos que puedan cerrarse, generará dos nuevas hipótesis para cada acción de viento: una combinando el caso de que los huecos a sotavento se cierren y otra con la máxima succión en el caso de que sean los huecos a barlovento los que permanezcan cerrados.

Se tendrá la siguiente lista de huecos: (Ver Anejo C).

Para el presente caso se considera que los huecos pueden cerrarse.

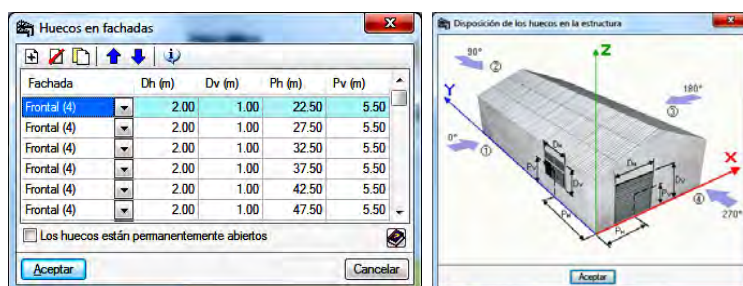


Figura 18. Ventana introducción de huecos.

Con todo esto, el “Generador de Pórticos” creará 12 nuevas hipótesis de carga de viento de acuerdo con el “Código Técnico de la Edificación”. De forma resumida, podremos identificar estas hipótesis con las siguientes nomenclaturas (tabla 1):

Hipótesis	Orientación	Presión interior/exterior	Presión/Succión
1	0 grados	Exterior tipo 1	Presión
2	0 grados	Exterior tipo 2	Presión
3	0 grados	Exterior tipo 1	Succión
4	0 grados	Exterior tipo 2	Succión
5	180 grados	Exterior tipo 1	Presión
6	180 grados	Exterior tipo 2	Presión
7	180 grados	Exterior tipo 1	Succión
8	180 grados	Exterior tipo 2	Succión
9	90 grados	Interior	Presión
10	90 grados	Interior	Succión
11	270 grados	Interior	Presión
12	270 grados	Interior	Succión

Tabla 1. Hipótesis de viento.

El número de grados hace referencia al ángulo con el que el viento incide sobre la superficie de la nave.

Para cada uno de los ángulos se tienen dos posibles situaciones: se genera presión interior o se genera succión interior.

Para cada una de las dos posibles situaciones se tienen dos tipos de hipótesis: 1 u 2. Estas situaciones generarán la tabla D.6 del CTE-DB-SE-AE en el anejo D: cubiertas a dos aguas. Con esto se pueden ver en función del ángulo de la cubierta los coeficientes para cada una de las zonas.

- **Nieve:** Para el cálculo de la sobrecarga por nieve se considera la normativa de cálculo española del CTE DB-SE AE.

Para determinar los datos del emplazamiento necesarios para calcular la sobrecarga de nieve, debe considerarse que la obra se encuentra en la comunidad de Madrid, en el término municipal de Getafe, correspondiente a la Zona climática invernal 4 (figura 19).

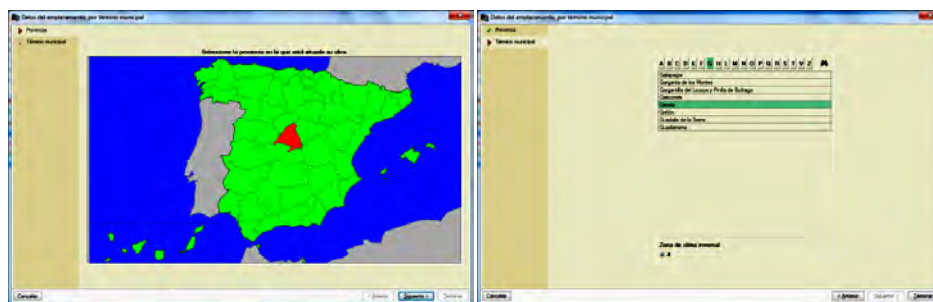


Figura 19. Ventana nieve.

Se considera una exposición al viento normal de modo que la sobrecarga de nieve no se aumente ni disminuya de forma automática.

Así mismo, se tendrá en cuenta el uso de una cubierta con resaltos debido a los elementos de los sistemas de acondicionamiento del interior de la nave.

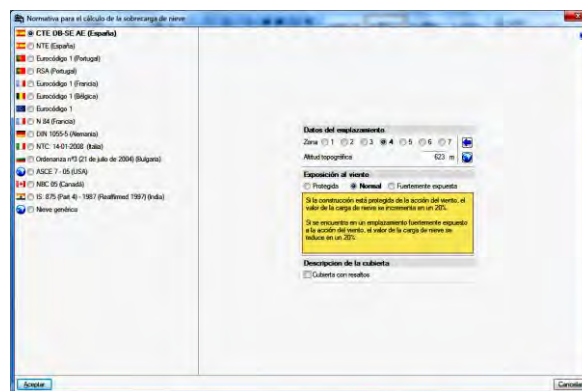


Figura 20. Introducción de datos en CYPE.

De este modo, el “Generador de Pórticos” generará 3 hipótesis de nieve:

- 1.- N1. Sobrecarga de nieve 1
- 2.- N2. Sobrecarga de nieve 2
- 3.- N3. Sobrecarga de nieve 3

Estas hipótesis de nieve representan la distribución simétrica de la nieve sobre la cubierta de la nave, además de las posibilidades de reparto asimétrico de la nieve, por lo que se generan dos hipótesis adicionales.

4.1.3.- Geometría de los pórticos. Muros y elementos.

4.1.3.1.- Geometría de los pórticos.

Una vez definidos los datos generales del proyecto se definirá la geometría del pórtico en el módulo de CYPE “Generador de Pórticos”. De este modo, una vez se tenga definida la geometría de los pórticos se pasará a calcular las correas de la cubierta.

En el presente caso se creará un pórtico a dos aguas con las características geométricas ya definidas en el capítulo 2.

- Se generará un pórtico tipo rígido (figura 21). El generador de pórticos únicamente genera pórticos tipo rígido. Posteriormente se definirá la cercha completa:

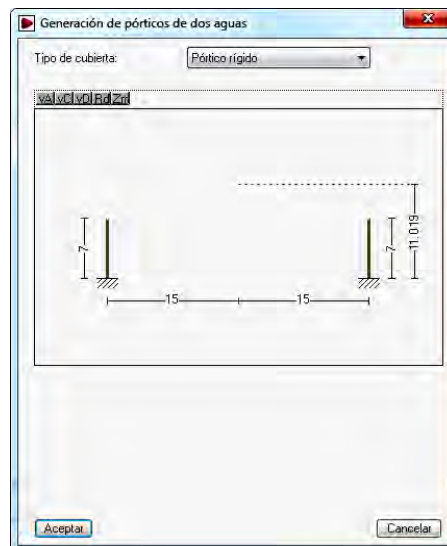


Figura 21. Visualización del pórtico.

4.1.3.2.- Muros y elementos.

En nuestra obra se considera como material de cerramiento lateral paneles de hormigón aligerado. De este modo, se debe especificar que se usarán muros en los laterales de la estructura y que así el programa genere las cargas de viento laterales.

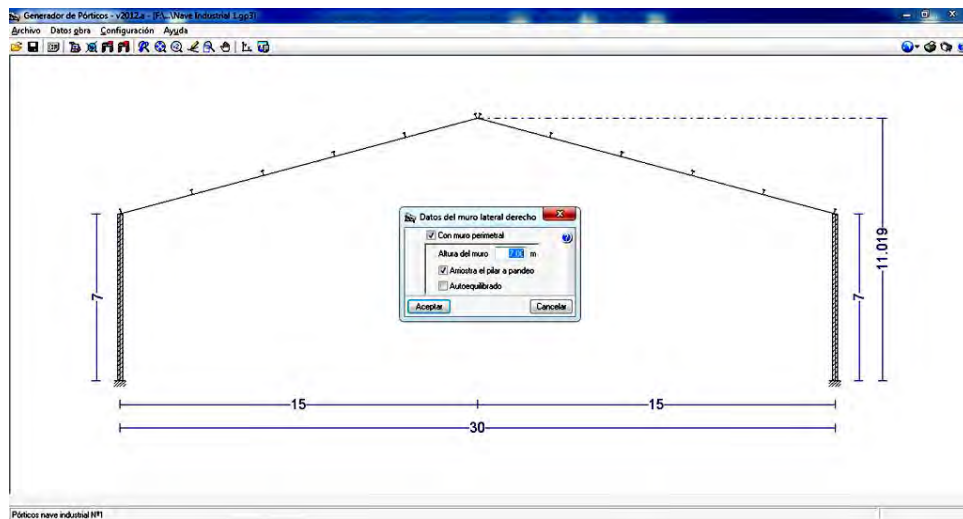


Figura 22. Introducción medidas del pórtico.

En este caso se escogerá la opción de arriostrar el pilar a pandeo, de modo que las cargas de presión del viento se transmitirán a los pilares de la fachada de la nave.

4.1.4.- Elección del perfil de las correas.

Una vez introducidos todos los parámetros necesarios en el “Generador de Pórticos” se debe indicar al programa bajo qué condiciones concretas van a trabajar las correas de la cubierta (figura 24).

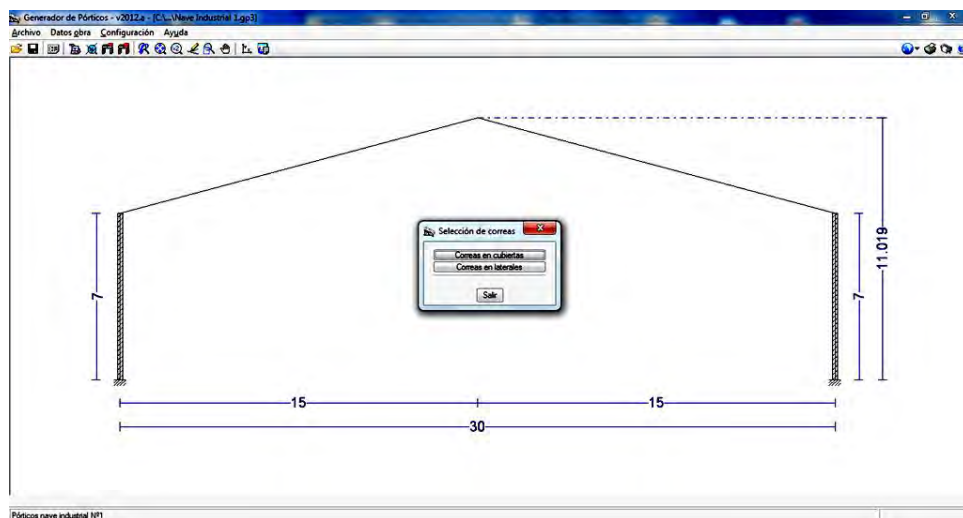


Figura 23. Introducción correas de cubierta.

De este modo, y según el apartado 4.3.3.1 del CTE-DB-SE se tiene una estructura perteneciente al caso C, con lo que la flecha estará limitada a $L/300$, siendo L la longitud del elemento.

Las correas de la estructura trabajan unidas rígidamente a la cubierta, por lo que se consigue reducir el máximo momento flector positivo del vano, pero se aumenta el máximo momento flector negativo. De este modo, se bonifica la flecha siendo ésta menor aumentando los momentos en los apoyos. Así pues, uniendo rígidamente las correas se podrán optimizar las barras y por consiguiente la estructura.

El método escogido para unir estas correas puede ser mediante soldadura entre ellas y el apoyo en el que descansan, no obstante, una forma muy extendida para unir dos correas entre sí y que además da grandes resultados es el uso de ejiones.

Para dimensionar el tipo de perfil adecuado para las correas, el programa realiza una serie de cálculos que comprueban qué condiciones han de cumplirse y cuál es el perfil adecuado. Para realizar este análisis, debemos introducir una serie de datos relativos a las características de las correas.

En primer lugar se introducirán los datos de cálculo solicitados por el “Generador de pórticos”, por lo que se indicará que el límite de flecha requerido es de $L/250$ (menor que el límite especificado por el CTE de $L/300$ para que de este modo se esté por el lado de la seguridad), el número de vanos y el tipo de fijación comentada anteriormente.

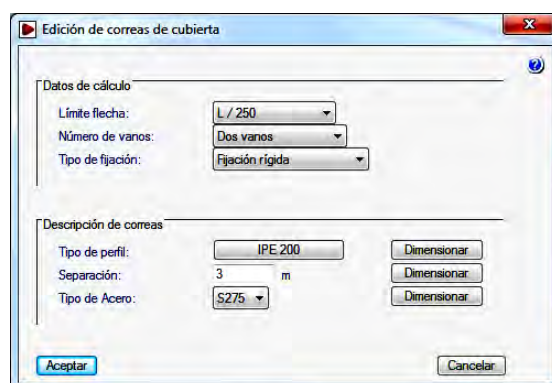


Figura 24. Edición de correas de cubierta.

A continuación, para determinar la descripción y dimensionamiento de las correas de cubierta se tienen tres posibles opciones en función de qué parámetro fijo se quiere determinar.

En este caso, el parámetro que se desea mantener constante para la descripción y posterior dimensionamiento de las correas es su separación (3 m en este caso debido a las dimensiones concretas de la estructura). Determinar una distancia mayor entre correas reduce el número de las mismas pero hace que se deba aumentar su perfil. En caso de haber escogido un tipo de correas ZF, el peso se hubiese reducido a la mitad, pero hubiese aumentado el número de correas en el doble, por lo que la elección entre ambos casos depende de otros factores, y en este caso se ha preferido disminuir el número de correas para poder tener mayor espacio entre correas en la cubierta y así poder disponer de mayor luz en caso de que se considere instalar algún tipo de ventanal superior.

De este modo, se ha tomado la decisión de fijar esta distancia. A partir de este dato el programa puede dimensionar los perfiles adecuados y el acero del que estarán compuestos las correas para cumplir con las solicitaciones de la nave (figura 25).

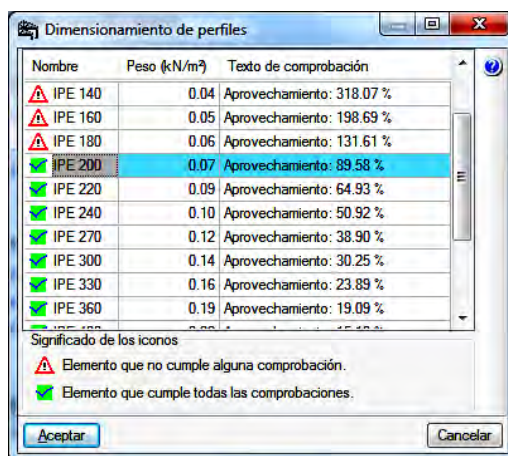


Figura 25. Comprobación de perfiles.

De este modo, puede observarse que el perfil que menor peso infliere sobre la estructura (0.07 kN/m^2) es el IPE 200, el cual presenta un porcentaje de aprovechamiento del 89.58% que está muy cerca del 100%, por lo que el perfil está bastante aprovechado, de modo que se puede disponer de una estructura optimizada

A continuación se muestra en la tabla 2 con las características resumidas de las correas seleccionadas así como un plano del pórtico final (figura 27).

	Nº Correas	Tipo	Peso (kN/m ²)	% Aprov. Tensión	% Aprov. Flecha	Separación (m)
Nave principal	12	IPE 200	0.07	82,98	90,10	3
Nave almacén	10	IPE 200	0.07	82,98	90,10	3

Tabla 2. Perfiles de correas seleccionados.

IPE 200	
	$h = 200 \text{ mm}$ $b = 100 \text{ mm}$ $t_w = 5.6 \text{ mm}$ $t_f = 8.5 \text{ mm}$
	$i = 12 \text{ mm}$ $d = 159.0 \text{ mm}$ $h_i = 183.0 \text{ mm}$
	$A = 28.5 \text{ cm}^2$ $M = 22.4 \text{ kg/m}$
	$I_y = 1943 \text{ cm}^4$ $W_y = 194.3 \text{ cm}^3$ $W_{ply} = 220.7 \text{ cm}^3$ $I_y = 8.26 \text{ cm}$ $I_t = 6.9 \text{ cm}^4$
	$I_z = 142 \text{ cm}^4$ $W_z = 28.5 \text{ cm}^3$ $W_{plz} = 44.6 \text{ cm}^3$ $I_z = 2.24 \text{ cm}$ $I_w = 13052 \text{ cm}^6$
	$S_y = 110.3 \text{ cm}^3$ $s_y = 17.6 \text{ cm}$
	$Av_z = 14.00 \text{ cm}^2$ $AG = 34.35 \text{ m}^2/\text{t}$

Figura 26. Dimensiones de perfil de correas.

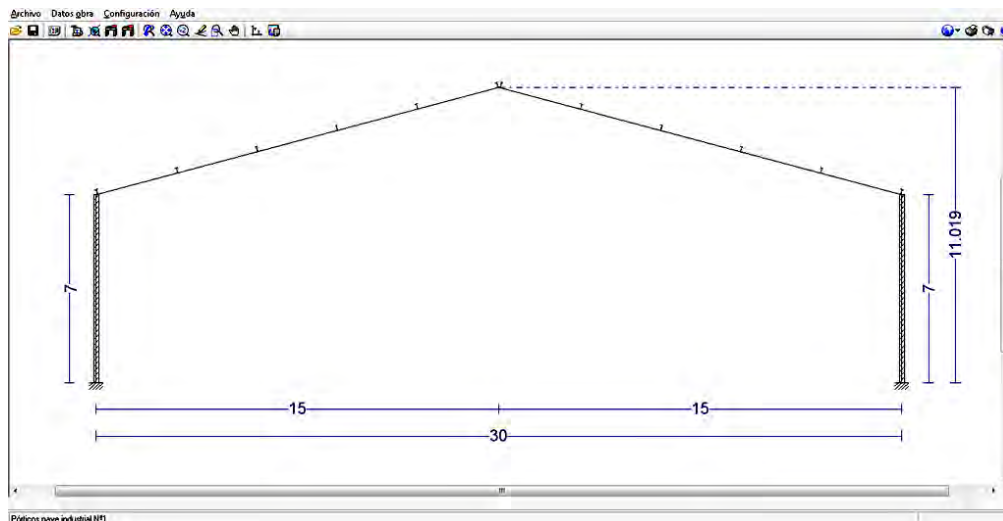


Figura 27. Correas de cubierta.

4.2.- GENERACIÓN DE LA NAVE COMPLETA. NUEVO METAL 3D.

El siguiente paso a dar, una vez se han definido los pórticos de la estructura y dimensionado las correas de cubierta, será el de crear el tipo de cercha que se ha seleccionado y dimensionar el resto de la estructura metálica para la presente nave industrial.

Resulta importante tener ciertas nociones sobre el comportamiento de este tipo de elementos estructurales para poder visualizar cómo será su proceso de montaje real en obra, el comportamiento que tendrá y las posibilidades de optimización.

Para la introducción de las cerchas y del resto de elementos estructurales se utilizará el módulo de CYPE “Nuevo Metal 3D” en conexión con los parámetros calculados anteriormente en el “Generador de pórticos”.

A continuación se mostrará el procedimiento seguido para el tipo de cercha definitiva seleccionada (cercha inglesa). No obstante, hasta llegar a esta decisión se han comprobado diferentes soluciones estructurales para poder así escoger la que mejor se adaptase a nuestras necesidades. No se mostrarán todas las soluciones probadas, pero es importante tener en cuenta esto para entender el por qué de la solución escogida.

4.2.1.- Definición de parámetros. Creación de las cerchas.

En este momento es cuando se utilizará la posibilidad que el software CYPE ofrece para poder establecer conexiones entre sus diferentes módulos. De este modo, se exportarán los datos obtenidos en el “Generador de pórticos” durante el diseño de los pórticos y sus correas al módulo “Nuevo Metal 3D”.

El paso de exportar los datos es muy importante para el diseño, y que debemos determinar una serie de parámetros y características de las que dependerá el resto del proceso de cálculo y optimización de la estructura, por lo que se debe ser muy consciente de qué se quiere hacer y cómo afecta cada decisión que se tome. Además, se debe tener muy en cuenta las características seleccionadas de la estructura durante estos pasos para desarrollarlas luego correctamente durante la ejecución de la obra.

Cuando exportamos los datos generados de un pórtico nos aparece el siguiente cuadro de diálogo en CYPE:

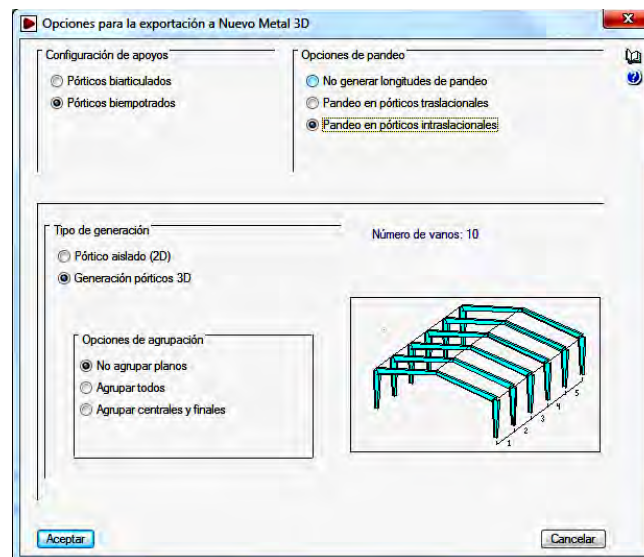


Figura 28. Exportación a Nuevo Metal 3D.

En primer lugar se escoge la configuración de los apoyos que se necesita para la estructura. En este caso se tendrá una nave con pilares metálicos empotrados a las respectivas zaparas de cimentación, por tanto será la opción de “Pórticos biempotrados” la que debe seleccionarse.

En cuanto a las opciones de pandeo, aunque el programa genera longitudes de pandeo independientemente de la opción que se seleccione, debe tenerse en cuenta la traslacionalidad o intraslacionalidad de nuestra nave en conjunto. Para poder determinar la opción más adecuada, se toman una serie de consideraciones:

- Por un lado, es sabido que la estructura es intraslacional longitudinalmente, ya que el cerramiento lateral está formado por paneles de hormigón aligerado prefabricado. Estos paneles arriostrarán la estructura longitudinalmente, de modo que podrá ser considerada intraslacional. Además, se introducirán en determinados puntos de la nave cruces de arriostramiento para otorgar de intraslacionalidad extra a la estructura.

- Considerando la traslacionalidad e los pórticos en su plano, cabe decir que los pórticos hastiales poseen cerramiento de hormigón, con lo cual no consideraremos traslacionalidad. Los pórticos con forjado también dispondrán de esta característica, y aunque los centrales si puedan considerarse traslacionales en su plano, para evitar un sobredimensionamiento de los pórticos con forjado y los hastiales (tanto de la nave principal como auxiliar) se considerará una estructura intraslacional. Además, incluiremos cruces de arriostramiento en determinados puntos de los aleros de las cerchas, por lo que mayor motivo aún para considerar la estructura intraslacional.

De este modo, seleccionamos que los pórticos son intraslacionales en su plano.

En cuanto al resto de los parámetros solicitados por el CYPE en esta fase, se indicará que se generarán los pórticos en 3D y sin agrupamiento de planos.

Además de estos datos, el CYPE durante la exportación a “Nuevo Metal 3D” nos solicita que indiquemos las siguientes consideraciones:

- **Normas.**

En este momento definiremos todas las normativas aplicadas por el CYPE y el módulo “Nuevo Metal 3D” para todos aquellos cálculos que tengan que ver con el hormigón, acero, madera o aluminio.

Además, es en este momento donde se tiene la opción de determinar si se quiere que se contemplen las acciones de cargas por sismo. Por supuesto, y como ya se indicó en el Capítulo 3, no se considerarán dichas cargas debido a las características concretas de la zona de construcción de la estructura.

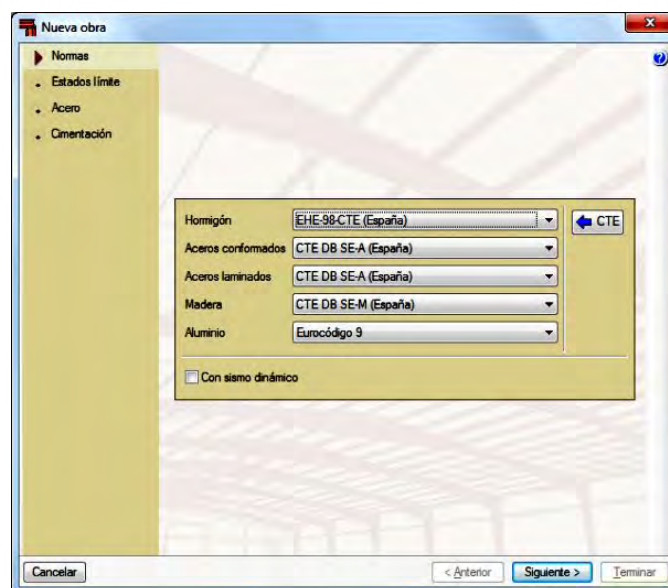


Figura 29. Normas.

- Estados Límite.

La configuración de los estados límite se deja con las opciones señaladas por defecto por el “Nuevo Metal 3D”, ya que se definen adecuadamente tras seleccionar las normas aplicables en el paso anterior.

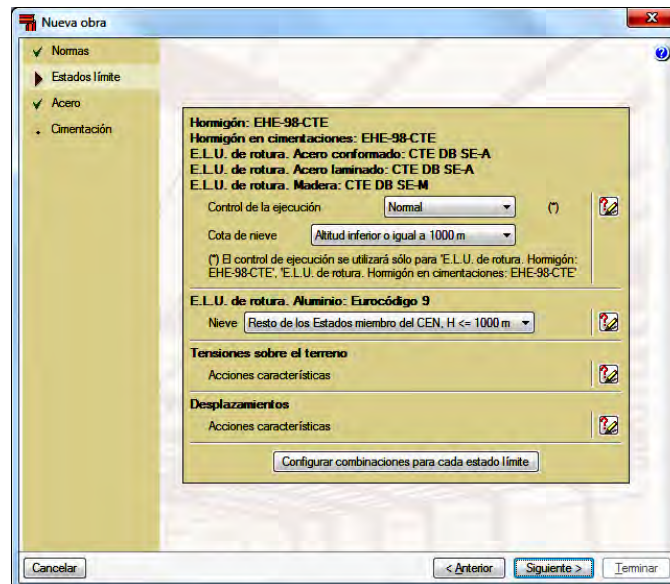


Figura 30. Estados Límite.

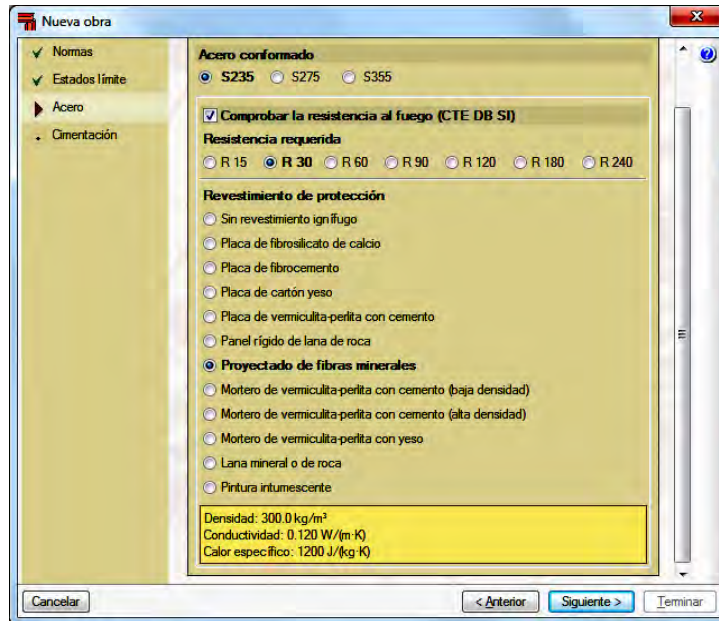
- Acero.

Este es uno de los pasos fundamentales para la realización adecuada de todos los cálculos y dimensionamientos posteriores. Aquí se determinará con qué acero se realizará la estructura además de determinar la resistencia al fuego de la misma y el tipo de elemento de revestimiento de protección que llevará.

Por un lado, se selecciona el acero conformado S235, que es el típico de este tipo de estructuras, y su precio resulta menor, por lo que resulta interesante intentar dimensionar la nave con este material (figura 31).

En cuanto a la resistencia al fuego requerida, se ha tenido en cuenta el uso final de la nave, y considerando la posibilidad de que alguno de los centros de mecanizado, que contienen elementos inflamables, pueda averiarse con generación de fuego, se ha determinado una resistencia mínima al fuego para la estructura de R30.

Para poder garantizar esta resistencia se utiliza como revestimiento de protección un proyectado de fibras minerales sobre las vigas de las cerchas de la nave. Este elemento aumenta la carga sobre la estructura con el consiguiente aumento de dimensión, pero resulta necesaria para garantizar la seguridad requerida frente a fuego.



Nueva obra

- ✓ Normas
- ✓ Estados límite
- Acero
- Cimentación

Acero conformado

☒ S235 ☐ S275 ☐ S355

☒ Comprobar la resistencia al fuego (CTE DB SI)

Resistencia requerida

☐ R 15 ☒ R 30 ☐ R 60 ☐ R 90 ☐ R 120 ☐ R 180 ☐ R 240

Revestimiento de protección

☐ Sin revestimiento ignífugo

☐ Placa de fibrosilicato de calcio

☐ Placa de fibrocemento

☐ Placa de cartón yeso

☐ Placa de vermiculita-perlita con cemento

☐ Panel rígido de lana de roca

☒ Proyectado de fibras minerales

☐ Mortero de vermiculita-perlita con cemento (baja densidad)

☐ Mortero de vermiculita-perlita con cemento (alta densidad)

☐ Mortero de vermiculita-perlita con yeso

☐ Lana mineral o de roca

☐ Pintura intumescente

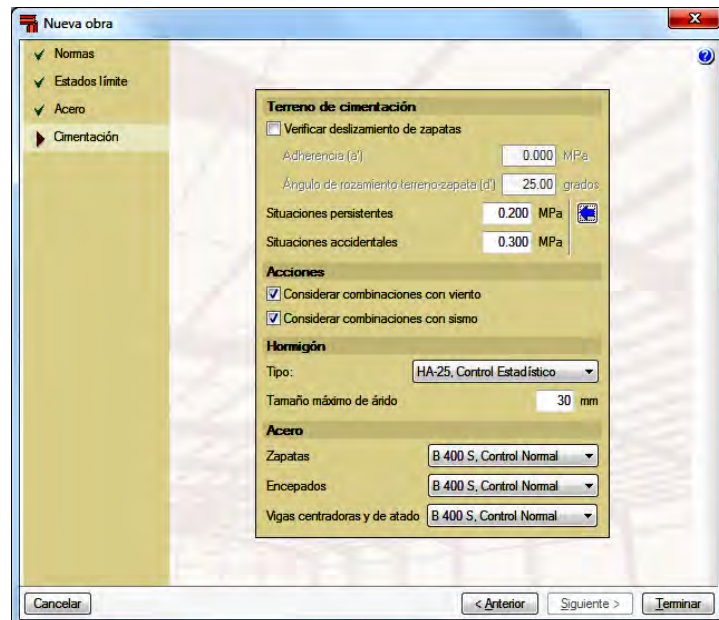
Densidad: 300.0 kg/m³
Conductividad: 0.120 W/(m·K)
Calor específico: 1200 J/(kg·K)

Cancelar < Anterior Siguiente > Terminar

Figura 31. Acero.

- Cimentación.

En este último paso de definición de parámetros generales de la obra, se determinarán las características del terreno para la cimentación, además de los materiales a utilizar en la misma, incluyendo el hormigón y el acero (figura 32).



Nueva obra

- ✓ Normas
- ✓ Estados límite
- ✓ Acero
- Cimentación

Terreno de cimentación

☐ Verificar deslizamiento de zapatas

Adherencia (δ) 0.000 MPa

Ángulo de rozamiento terreno-zapata (δ) 25.00 grados

Situaciones persistentes 0.200 MPa

Situaciones accidentales 0.300 MPa

Acciones

☒ Considerar combinaciones con viento

☒ Considerar combinaciones con sismo

Hormigón

Tipo: HA-25, Control Estadístico

Tamaño máximo de árido 30 mm

Acero

Zapatas B 400 S, Control Normal

Encepados B 400 S, Control Normal

Vigas centradoras y de atado B 400 S, Control Normal

Cancelar < Anterior Siguiente > Terminar

Figura 32. Cimentación.

De este modo, se tienen ya definidos todos los parámetros y características necesarias para poder generar una estructura básica de la nave industrial. Así pues, el módulo de CYPE “Nuevo Metal 3D” generará un archivo donde se podrá completar toda la estructura, definir sus características finales y posteriormente calcular y dimensionar cada uno de los elementos.

Una vez exportada la nave y generado el nuevo archivo de “Nuevo Metal 3D”, se obtendrá la siguiente estructura básica sobre la que se irá trabajando a partir de este momento (figura 33):

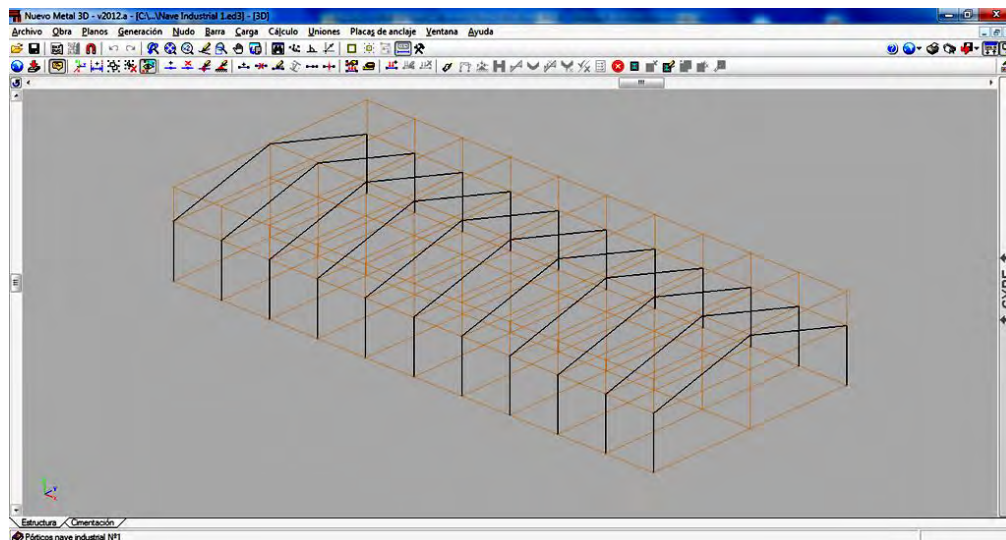


Figura 33. Pórticos exportados.

No obstante, antes de proceder al cálculo de la estructura metálica completa (incluyendo la nave auxiliar) se realizará un breve predimensionamiento previo de una de las cerchas tipo del interior de la nave para tener una idea general de qué resultados aproximados deben obtenerse así como del método de cálculo seguido para la optimización posterior de la estructura completa.

4.2.2.- Predimensionamiento de cercha tipo.

En este punto se procederá a realizar un breve predimensionamiento de una cercha tipo de la estructura para poder tener una idea previa y evitar cálculos innecesarios cuando posteriormente se finalice con la estructura completa.

Hasta ahora, con el “Generador de pórticos” y los datos iniciales introducidos en el “Nuevo Metal 3D” se tiene lo siguiente:

- Pórtico dibujado completamente incluyendo los pilares metálicos.
- Parámetros de pandeo aproximado calculados con el “Generador de pórticos”.
- Correas calculadas y dimensionadas.
- Acciones externas de viento y nieve 100% definidas.

De este modo, una vez creada una de las cerchas debe definirse:

- Condiciones concretas de apoyo.
- Definir completamente todos los nudos.
- Definir y agrupar las barras.
- Introducir los coeficientes de pandeo y las flechas (CTE).
- Analizar los resultados del dimensionamiento.

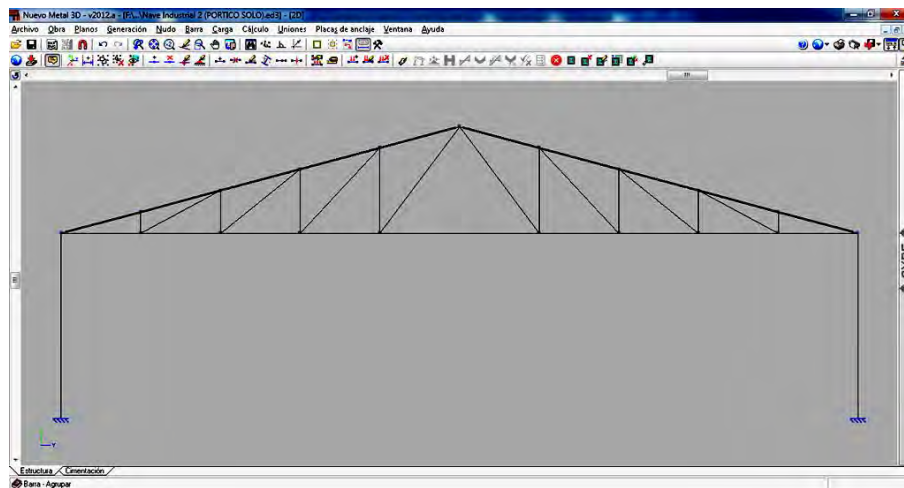


Figura 34. Cercha inglesa tipo.

4.2.2.1.- Descripción de los apoyos.

En este caso, se dispondrá de una estructura cuyos pilares metálicos se anclarán al suelo mediante uniones empotradas. De este modo, la transmisión de los esfuerzos a la cimentación hará que ésta ayude a “resistir” las acciones distribuyéndose así la carga y evitando que los pilares sean los más castigados y que por tanto sean menos sobredimensionados.

Además, seleccionando un empotramiento de los pilares se evitarán desplazamientos mayores de las cercas, favoreciendo de este modo la flecha y cumpliendo mejor con lo establecido en el CTE.

Otro de los aspectos fundamentales en la decisión de escoger uniones empotradas es la facilidad de montaje posterior, ya que la flecha es un elemento crítico en esta fase de la ejecución de la estructura.

En la siguiente figura (figura 35) puede observarse la configuración de placa de anclaje de un pilar metálico empotrado sobre la cimentación.

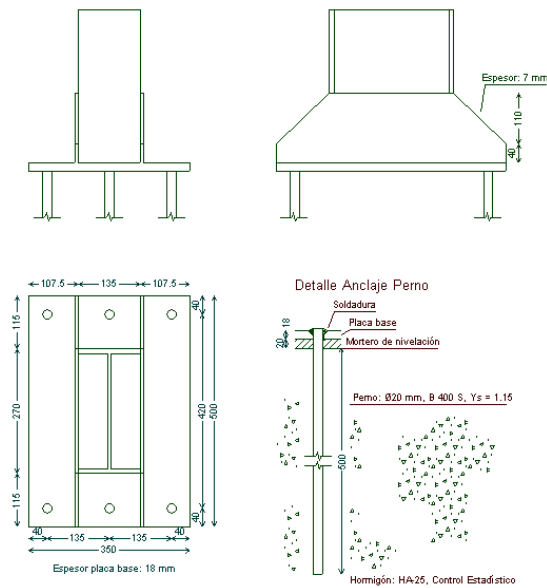


Figura 35. Esquema placa de anclaje.

4.2.2.2.- Descripción de los nudos.

El siguiente paso en la definición de las características completas de la cercha es la definición de la tipología de todos los nudos presentes en la misma. Para poder determinar esto será preciso poder conocer el tipo de perfil con el que se construirá. En este caso, la predimensionalización con el módulo “Nuevo Metal 3D” se realizará utilizando perfiles en forma de “H” HEB.

Estos perfiles irán montados en la estructura soldados entre sí a lo largo de todo su contorno, por lo que de este modo definiremos todos los nudos de la estructura como uniones empotradas entre sí.

El hecho de que un nudo se encuentre empotrado implica que el ángulo que forman las barras pertenecientes a dicho nudo se mantenga tras someter la estructura a las cargas oportunas. De este modo, todas las deformadas de las barras concurrentes en un mismo nudo mantendrán el ángulo original.

Esta solución es mejor que la alternativa de crear uniones articuladas ya que, una estructura articulada generará únicamente cargas axiales en las barras, pero trabajará mal en caso de que alguna de las cargas de la estructura se encuentre deslocalizada de los nudos ya que la barra quedará muy expuesta a los esfuerzos. En cambio una estructura empotrada, si únicamente aplicamos cargas en los nudos, se comportará igual que una articulada generando solo cargas axiales. Pero si esa misma estructura articulada tuviese esfuerzos fuera de los nudos, la transmisión de los mismos sería mucho más sencilla y por tanto las tensiones se distribuirían mejor por toda la cercha. Es por esto por lo que se selecciona ésta solución en concreto.

4.2.2.3.- Descripción de las barras.

En este momento se deben describir todas y cada una de las barras que forman parte de la cercha tipo a predimensionar. No obstante, resulta de utilidad agrupar previamente aquellas barras que van a presentar las mismas características y de este modo simplificar la asignación de los parámetros. Esta opción está disponible en el menú desplegable “Barra” mediante la opción “Agrupar”.

Además de esto, realizar la agrupación de barras tiene una serie de ventajas que pueden resultar de mucha utilidad:

- Facilita el dimensionado y simplifica los resultados de los cálculos al hacer iguales todos los perfiles de la agrupación. De este modo resulta también más sencilla la proyección y el montaje posterior de la obra.
- Simplifica el análisis de resultados por lo que es más fácil la obtención de un óptimo.
- Permite optimizar mejor la estructura evitando sobredimensionamientos.

De este modo, se generarán tres grupos independientes de barras: pilares metálicos, cordones superiores e inferiores de la cercha y montantes de refuerzo.

A continuación se llevará a cabo un predimensionamiento de la estructura. El software comercial CYPE utiliza el método de la matriz de rigideces para el cálculo de desplazamientos y esfuerzos. Este método dependerá de las rigideces de las barras que a su vez dependen del tipo de perfil seleccionado.

Para poder desarrollar un predimensionamiento coherente no se escogerán perfiles muy desproporcionados que pueden llevar a que el CYPE calcule durante demasiado tiempo. De este modo, se determinan los siguientes perfiles para cada uno de los grupos seleccionados considerando para todos unos materiales de construcción de acero S235, el cual soporta 235N/mm^2 :

- Pilares metálicos. IPE

Para determinar el perfil de los pilares se escoge un perfil de acero laminado seleccionando de partida un IPE-300, ya que debe considerarse que los pilares soportarán un gran esfuerzo al soportar el peso de toda la cercha (figura 36).



Figura 36. Descripción del perfil de pilares.

No obstante, debe considerarse que en la práctica real suelen utilizarse perfiles HEB para vigas metálicas que actuarán como pilares, ya que estos perfiles soportan mejor los esfuerzos a axiles. Para éste dimensionamiento previo, por cuestiones de rapidez y homogeneidad se dimensionará con perfiles IPE, pero posteriormente en la definición de la nave completa se le indicará al CYPE que utilice, solo para los pilares, perfiles HEB.

- **Cordones superiores e inferiores.**

Para estas barras, que supondremos soportaran esfuerzos grandes, pero menores que los de los pilares, escogeremos perfiles laminados IPE-240.

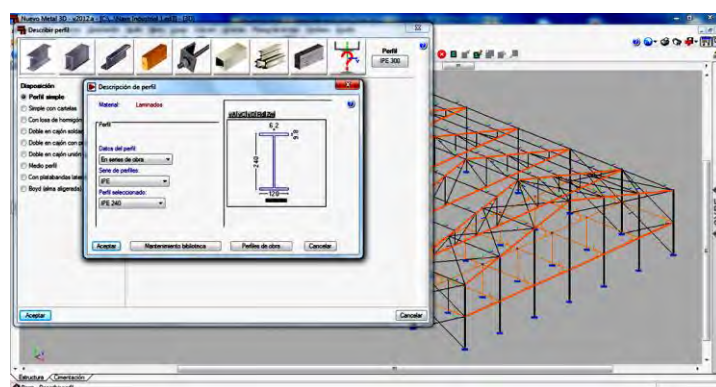


Figura 37. Descripción del perfil de cordones.

- **Montantes de refuerzo.**

Considerando que estos elementos son de apoyo auxiliar a la distribución de las tensiones sobre los dinteles de la cercha y los pilares, escogeremos el menor de los perfiles, considerando de este modo un perfil laminado tipo IPE-160.

4.2.2.4.- *Flechas y pandeos.*

A continuación se deben introducir en el programa las limitaciones de flecha y los coeficientes de pandeo de todas las barras que componen la estructura.

En el momento de introducir las limitaciones para las flechas nos limitaremos únicamente a la flecha máxima en los cordones superiores e inferiores de la cercha de acuerdo a lo marcado en apartados anteriores: $L/300$.

En cuanto a los coeficientes de pandeo, en un primer momento se tienen unos coeficientes iniciales calculados por el “Generador de pórticos”, no obstante, se debe llevar a cabo una revisión de los resultados por si fuese necesario realizar alguna modificación.

El pandeo es un fenómeno que condiciona las piezas sometidas a compresión. No obstante, a priori no puede saberse qué piezas trabajaran a compresión y por lo tanto a qué barras se deben asignar coeficientes de pandeo o no.

El coeficiente de pandeo es un valor mayor o igual a cero que pondera la longitud de la barra calculando lo que se conoce como “Longitud de pandeo” ($L_K = \beta \cdot L$). Hay una serie de factores que influyen significativamente en la hora de cuantificar el pandeo, como las condiciones de contorno, la existencia de elementos que impidan el pandeo o la conexión con el resto de barras de la estructura. Estos factores son los que determinan el llamado “Coeficiente de pandeo” (β).

Para calcular estos coeficientes de pandeo se parte de las bases oficiales establecidas por el CTE-DB-SE-AE en su apartado 6.3.2 tabla 4 (tabla 3). En este apartado se establecen relaciones entre los coeficientes de pandeo y la descripción de los extremos de las barras:

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_K	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Tabla 3. Pandeos CTE.

Para introducir estos coeficientes se debe considerar por un lado si la estructura es traslacional o intraslacional (para nuestro caso concreto intraslacional como se definió anteriormente).

En el “Nuevo Metal 3D” introduciremos estos coeficientes de pandeo en relación a los ejes locales de cada barra en cada uno de los dos planos principales:

- Plano “xy”. Es el plano débil del perfil (plano paralelo a las alas).
- Plano “xz”. Plano fuerte del perfil (plano que contiene al alma de la pieza).

Debido a que el CYPE considera siempre que entre dos nudos siempre existe una barra, tanto el cordón inferior como el superior estarán formados por “n” sub-barras en función del número de cortes que estos cordones tengan con las diagonales y los montantes. No obstante, esto en realidad no es cierto, y los cordones superiores e inferiores estarán formados por un único perfil. Esto hace que se deba tener especial cuidado con los pandeos de estas barras para hacer que se comporten de igual manera.

De este modo, para el presente caso se utilizará una fórmula de longitud de pandeo ligeramente diferente a la establecida anteriormente, donde se deberán tener en cuenta las diferentes sub-barras:

$$L_K = \alpha_i \cdot \beta \cdot L ; \quad \alpha_i = \frac{\sum l_i}{l_i}$$

$$l_i = \text{longitud de cada sub-barra}$$

Ecuación 1. Longitud de pandeo.

De este modo, a continuación se procederá a determinar los coeficientes de pandeo más adecuados para cada tipo de barra del pórtico:

- Cordón inferior de la cercha:

Antes de determinar los coeficientes de pandeo del cordón inferior debemos mencionar que, siendo la longitud de este de 30m, es un elemento muy susceptible de sufrir los efectos del pandeo. Generalmente, cuando se construyen cerchas de estas dimensiones, se suelen arriostrar los cordones inferiores, de modo que disminuya su longitud de pandeo y por tanto los coeficientes de pandeo. No obstante, debido a las restricciones de nuestra estructura y a la distribución de los montantes, se considerará que este elemento dispondrá de los siguientes coeficientes de pandeo:

- Plano XY:

$$L_K = \alpha_i \cdot \beta \cdot L = \frac{30}{3} \cdot 1 \cdot L = 10 \cdot 1 \cdot L$$

Se ha decidido utilizar $\beta = 1$ ya que este cordón inferior se encuentra biarticulado en sus apoyos y en este plano XY se comporta como intraslacional.

- Plano XZ:

En este caso se utilizará también un $\beta = 1$ ya que este cordón se encuentra biarticulado en este plano e intraslacional.

- Cordón superior de la cercha:

Tanto para el plano XY como el XZ consideraremos un $\beta = 1$ ya que se consideran barras biarticuladas. Además se tendrá que la longitud de pandeo de cada una de las sub-barras es su propia longitud. Esto se debe a que consideramos que las correas de cubierta arriostran este cordón en sus dos planos.

- Montantes y diagonales:

Para estos elementos se considerará un coeficiente de pandeo $\beta = 0$ en el plano XY mientras que tendremos un valor $\beta = 1$ en el XZ. Esto se debe a que consideraremos que estas barras no pandearán puesto que la estructura completa debería entrar en carga (al estar estas unidas al panel de cobertura con fijación rígida).

- Pilares:

Para los pilares del pórtico tendremos impedido el pandeo en el plano XY debido al cerramiento lateral, y siendo de 0.7 en el XZ debido a que están empotrados en su base y articulado en la cabecera.

Adicionalmente a esto, el “Nuevo Metal 3D” nos permite tener en cuenta un efecto adicional de pandeo: el pandeo lateral. Este se puede definir como el efecto que se produce en piezas sometidas a flexión en los puntos donde la sección se encuentra sometida a compresiones a lo largo del eje fuerte de la viga.

De este modo, debido a las hipótesis de succión del viento en la cubierta puede llegarse a producir pandeo lateral en el ala inferior de los dinteles de los pórticos. Para definir los parámetros, colocaremos en el ala interior de estas vigas un tornapuntas para correas con una longitud libre de pandeo de $L_b = 3.106m$ en los dinteles de la nave principal. Así mismo, para los pilares se definirá el pandeo lateral como arriostrado.

4.2.2.5.- Cálculo de la cercha.

Una vez se han terminado de introducir todos los parámetros necesarios para definir completamente la cercha se procederá a calcular la misma. Con esto puede verse qué perfiles de la serie definida son los que cumplen con los requerimientos mínimos generados por las condiciones establecidas.

De este modo pueden verse los siguientes resultados tras realizar un dimensionamiento óptimo utilizando todos los perfiles de la serie seleccionada (figura 38):

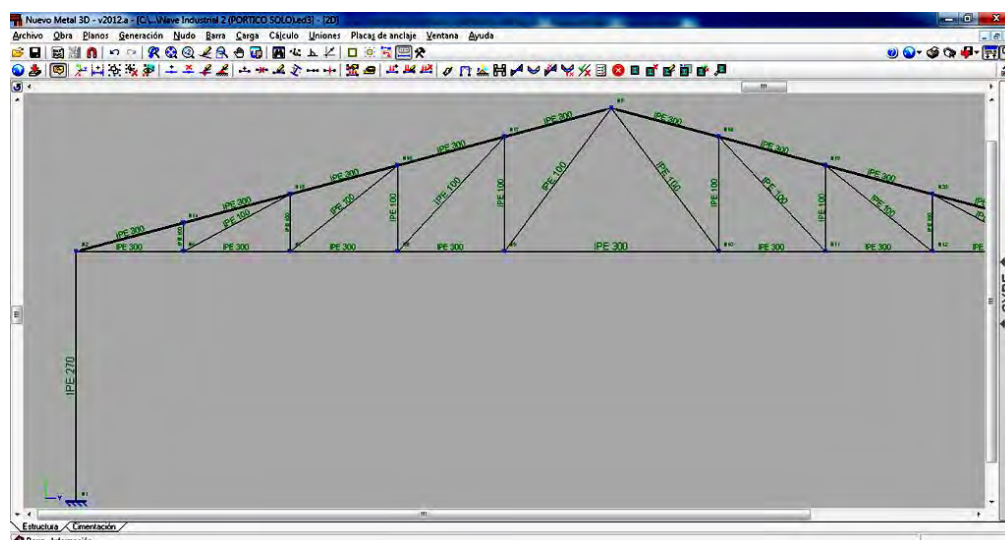


Figura 38. Perfiles dimensionados.

Los perfiles seleccionados por CYPE son (tabla 4):

Pilares	Cordones superior e inferior	Montantes y diagonales
IPE 300	IPE 330	IPE 100

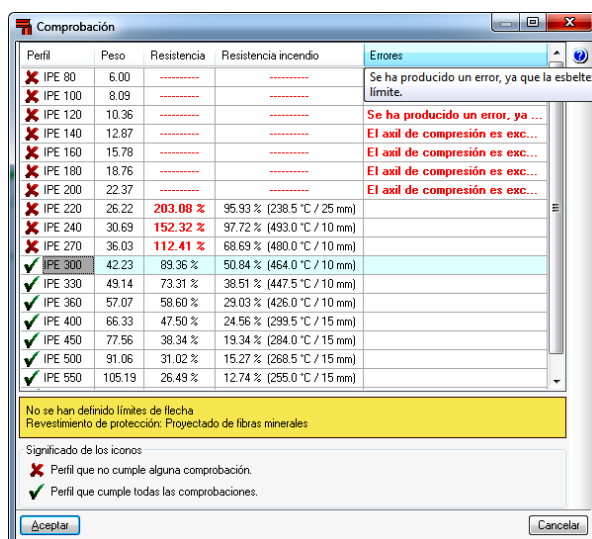
Tabla 4. Perfiles seleccionados por CYPE.

4.2.2.6.- Optimización de la estructura.

Antes de poder determinar si los perfiles seleccionados por el CYPE de la serie fijada son los adecuados para nuestra estructura debe tenerse en cuenta en primer lugar si cumplen con todas las comprobaciones y requerimientos y en segundo lugar si son los que menor peso infieren sobre la estructura y por tanto mayor optimización proporcionan.

En este caso puede verse que todos los perfiles seleccionados por el “Nuevo Metal 3D” cumplen con los requisitos mínimos (color verde de las barras). De este modo únicamente tendremos que ver si estos son los perfiles mínimos que cumplen o si por el contrario podemos seleccionar otros perfiles de la serie con menor peso.

Seleccionando cualquiera de las barras puede verse un detalle de los perfiles de la serie y cuáles de ellos cumplen con las especificaciones (figura 39):



Perfil	Peso	Resistencia	Resistencia incendio	Errores
✗ IPE 80	6.00	-----	-----	Se ha producido un error, ya que la esbeltez limite.
✗ IPE 100	8.09	-----	-----	
✗ IPE 120	10.36	-----	-----	
✗ IPE 140	12.87	-----	-----	
✗ IPE 160	15.78	-----	-----	
✗ IPE 180	18.76	-----	-----	Se ha producido un error, ya ...
✗ IPE 200	22.37	-----	-----	El axil de compresión es exc...
✗ IPE 220	26.22	203.08 %	95.93 % (238.5 °C / 25 mm)	El axil de compresión es exc...
✗ IPE 240	30.69	152.32 %	97.72 % (493.0 °C / 10 mm)	El axil de compresión es exc...
✗ IPE 270	36.03	112.41 %	68.69 % (480.0 °C / 10 mm)	El axil de compresión es exc...
✓ IPE 300	42.23	89.36 %	50.84 % (464.0 °C / 10 mm)	
✓ IPE 330	49.14	73.31 %	38.51 % (447.5 °C / 10 mm)	
✓ IPE 360	57.07	58.60 %	29.03 % (426.0 °C / 10 mm)	
✓ IPE 400	66.33	47.50 %	24.56 % (299.5 °C / 15 mm)	
✓ IPE 450	77.56	38.34 %	19.34 % (284.0 °C / 15 mm)	
✓ IPE 500	91.06	31.02 %	15.27 % (268.5 °C / 15 mm)	
✓ IPE 550	105.19	26.49 %	12.74 % (255.0 °C / 15 mm)	

No se han definido límites de flecha
Revestimiento de protección: Proyectado de fibras minerales

Significado de los iconos:
✗ Perfil que no cumple alguna comprobación.
✓ Perfil que cumple todas las comprobaciones.

Figura 39. Comprobación de perfiles.

De este modo, puede verse que todos los perfiles seleccionados por CYPE son los mínimos que cumplen con las comprobaciones, por lo que no es necesario seleccionar otro perfil menor y volver a calcular.

No obstante, aun no se puede determinar si estos son los tipos de perfiles definitivos que se utilizarán en la cercha, ya que es posible que utilizando otra serie se tengan determinados perfiles que no solo cumplan con las comprobaciones sino que infieran un peso menor a la estructura.

Así pues, debemos tener en cuenta los perfiles que tenemos disponibles para el cálculo así como el tipo de uniones que vamos a utilizar en nuestra obra. De este modo deberá repetirse el proceso anteriormente descrito con cada uno de los perfiles, considerando las posibles variaciones de pandeo por el comportamiento diferente de la unión y el perfil.

A la hora de determinar el tipo de nudos que se van a utilizar debe tenerse en cuenta que, los nudos rígidos transmitirán momentos entre sí, con lo que las barras funcionarían a tracción/compresión, esfuerzos cortantes y momentos flectores. En cambio, los nudos articulados generarían únicamente esfuerzos de tracción/compresión en todas las barras de la estructura.

Sin embargo, en este caso, será el tipo de perfil el que determinará el nudo que se utilizará. Si se montan perfiles huecos cuadrados estos evidentemente irán soldados en todo su contorno, por lo que se deberán utilizar uniones empotradas. Por el contrario, utilizando perfiles laminados en L podremos montarlos con uniones atornilladas o soldadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta evidente que en función del tipo de unión que estemos usando los coeficientes de pandeo de las barras variarán y por tanto la solución de la estructura puede ser sustancialmente diferente.

De este modo, se calcularán de nuevo las cerchas teniendo en cuenta una serie de perfiles diferentes, con sus respectivas uniones y coeficientes de pandeo así como su optimización final, y se mostrarán (sin exponer de nuevo todos los cálculos) los resultados obtenidos para poder escoger aquella cercha que más económica resulte (Tabla 5):

Tipo de perfil	Tipo de unión	Peso de la cercha
IPE	Empotrada	3991,20Kg
IPE + Huecos cuadrados	Empotrada	No cumple ningún perfil.
Huecos redondos	Empotrada	No cumple ningún perfil.
Doble UPN soldado en cajón	Empotrada	4532,80Kg
HEA + Huecos cuadrados	Empotrada	No cumple ningún perfil.
Doble L en cajón soldado	Articulada	5019,22Kg

Tabla 5. Resumen de pesos.

Así pues, a la vista de los resultados pueden verse que los perfiles idóneos para la estructura son los perfiles IPE (figura 39) ya que son los que menor peso infieren.

Presumiblemente a priori se consideraba que los perfiles con menor peso serían los cuadrados huecos en combinación con perfiles IPE, pero se pudo comprobar que ningún perfil de esta serie cumplía con todas las comprobaciones, por lo que se tuvo que descartar esta idea.

De este modo, se tiene el siguiente resumen de mediciones de las barras (tabla 6 y figura 40):

Pilares	Cordones superior e inferior	Montantes y diagonales
IPE 300	IPE 330	IPE 100

Tabla 6. Perfiles escogidos.

1.1.2.5.- Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S235	IPE	IPE 300	14.000			0.075			591.26		
			IPE 330	61.058			0.382			3000.46		
			IPE 100	49.406			0.051			399.48		
					124.465	124.465		0.508	0.508		3991.20	3991.20

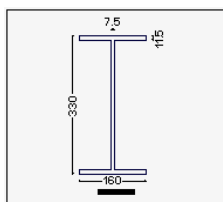


Figura 40. Resumen de medición de perfiles.

4.2.2.7.- Comprobación de la cercha.

Resulta tentador tomar la solución anterior del dimensionado de la cercha como buena, pero no obstante debe hacerse una comprobación manual de los resultados ya que no se debe confiar en que todos los datos y parámetros hayan sido introducidos correctamente. Cualquier error interno de cálculo del programa, que es ajeno a nuestro control, puede resultar nefasto, por lo que llegados a este punto resulta necesario hacer una comprobación analítica de los resultados y valorar de este modo si pueden darse por buenos o no.

En primer lugar, deben considerarse qué cargas actúan sobre nuestra estructura y en qué combinaciones lo hacen, de modo que se pueda determinar cuál es la combinación más desfavorable y proceder al dimensionado.

Considerando lo dicho en el CTE-DB-SE en su capítulo 4 deben considerarse unos coeficientes parciales de seguridad en una determinada combinación de acciones. Teniendo en cuenta las cargas que afectan a la estructura (descritas en el apartado III del presente documento), debemos calcular la combinación de hipótesis más crítica.

Resulta evidente que calcular todas las combinaciones de hipótesis a mano es una tarea laboriosa y que no aporta ningún tipo de valor, por lo que se hará uso de las combinaciones que utiliza “Nuevo Metal 3D” para poder ver cuál de ellas resulta más desfavorable y comprobar así la estructura.

Analizando los resultados que nos ofrece “Nuevo Metal 3D”, puede considerarse que la hipótesis de combinación de cargas más desfavorable es:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot V H3 + 0.75 \cdot N(EI)$$

Ecuación 2. Combinación de hipótesis desfavorable.

Es decir, con una situación de carga permanente desfavorable siendo carga principal la de viento y nieve en estado inicial desfavorable.

A continuación puede verse cómo cargarán cada una de estas acciones la cubierta de la estructura (figuras 41-43). Se considerarán únicamente las cargas sobre los cordones ya que es en estos elementos donde se producen las mayores sollicitaciones.

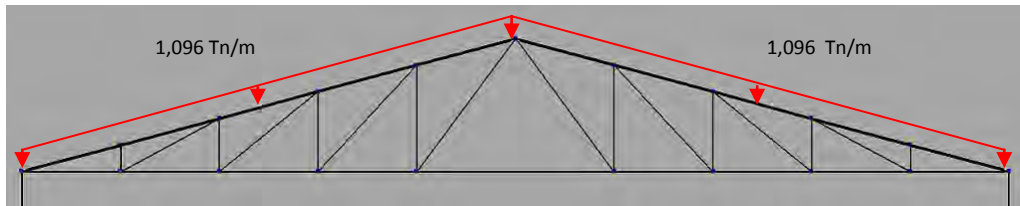


Figura 41. Hipótesis de carga permanente sobre los cordones de la cercha.

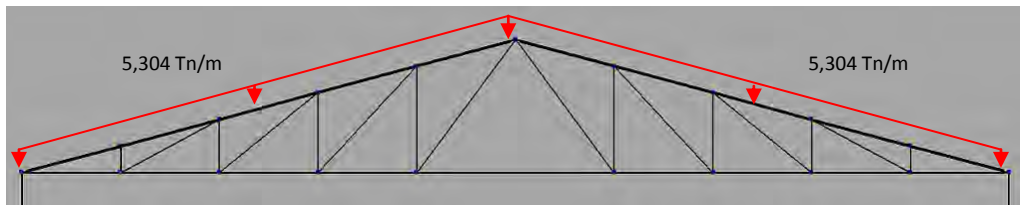


Figura 42. Hipótesis de viento VH3 sobre los cordones superiores.

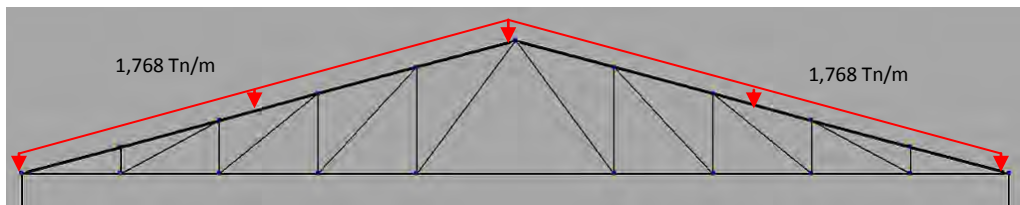


Figura 43. Hipótesis de nieve N(EI) sobre los cordones superiores.

Debe tenerse en cuenta que las cargas permanentes y de nieve son perpendiculares al plano del suelo, mientras que las cargas de viento son perpendiculares al plano del cordón superior.

Es importante señalar que, al tratarse de una comprobación, se considerarán únicamente las cargas actuantes sobre los elementos más solicitados de la estructura, que como ya se indicó anteriormente, son los cordones superiores.

Los pasos a seguir para la comprobación de la cercha han sido los siguientes:

- Se reparten las cargas distribuidas de modo que la cercha quede únicamente cargada en sus nudos.



- Se resuelve la cercha mediante el método de los nudos para cada estado de carga.
- Se calculan las cargas para cada barra suponiendo la peor de las combinaciones.
- Se calculan las tensiones que estos elementos están soportando (y se comparan con los resultados ofrecidos por CYPE).
- Se compara la máxima tensión que pueden soportar y se calcula el coeficiente de seguridad.

En primer lugar para la carga permanente y la hipótesis de nieve se ha calculado la carga en dirección perpendicular al plano del cordón:

$$-1,096 \cdot \cos(15) = -1,058 \text{ Tn/m} \rightarrow \text{Ecuación 3}$$

$$-1,768 \cdot \cos(15) = -1,708 \text{ Tn/m} \rightarrow \text{Ecuación 4}$$

A continuación se calcula el reparto de las cargas en los nudos de la cercha:

- Carga permanente:

$$\frac{(-1,058) \cdot 15,53}{6} = -2,738 \text{ Tn/m} \rightarrow \text{Ecuación 5}$$

- Carga de viento:

$$\frac{(-5,304) \cdot 15,53}{6} = -13,72 \text{ Tn/m} \rightarrow \text{Ecuación 6}$$

- Carga de nieve:

$$\frac{(-1,708) \cdot 15,53}{6} = -4,42 \text{ Tn/m} \rightarrow \text{Ecuación 7}$$

Se resuelve ahora la cercha utilizando el método de los nudos. Este proceso no se describirá aquí ya que no aporta ningún valor adicional al proyecto. Una vez resueltas las cerchas para las diferentes cargas se tiene lo siguiente:

- Cargas de tracción sobre el cordón superior aplicando condición más desfavorable:

$$N = -1418,770 \text{ kN}$$

Con esto, se calculan las áreas de los perfiles seleccionados para los cordones:

$$A = 62,60 \text{ cm}^2 = 6,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Con todo esto se tienen las tensiones a las que son sometidos:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{1418770}{6,62 \cdot 10^{-3}} = 214,31 \text{ MPa} \rightarrow \text{Ecuación 8}$$

Teniendo en cuenta que la tensión máxima que soporta el acero S-235 es de 235MPa, aplicándole el coeficiente parcial de seguridad de acuerdo con el CTE-DB-SE-A en su capítulo 2 relativo a la plastificación de material obtendremos una tensión máxima de:

$$\sigma_{max} = \frac{214,31}{1,05} = 204,1MPa \rightarrow \text{Ecuación 9}$$

De este modo puede determinarse que los cordones resistirán sin ningún problema las tensiones a las que son sometidos.

4.2.3.- Introducción de nuevas barras: Estructura completa.

En este paso se pasa del enfoque en la predimensionalización y el análisis de parte de la estructura a conformar y calcular la nave al completo. Todo lo realizado hasta ahora ha servido para poder comprobar determinados parámetros que permitirán a partir de ahora completar el cálculo de la estructura completa reduciendo el tiempo y las incógnitas que vayan surgiendo. Así mismo puede verse que los perfiles definitivos de la estructura no diferirán mucho de los del predimensionado. No obstante, en determinados momentos se harán las aclaraciones necesarias para comprender las diferencias entre generar una estructura al completo y un único pórtico.

De este modo, deberemos retroceder hasta final del punto 4.2.1 de este mismo apartado en donde terminábamos por construir la estructura completa tridimensional exportando la información del “Generador de Pórticos” al “Nuevo Metal 3D”.

Llegados a este punto, se deberá crear la estructura completa con las características geométricas requeridas y definidas en el apartado II, por lo que se deberán añadir todas aquellas barras y nudos que falten en la nave principal (montantes, cordones inferiores y el forjado de oficinas) así como crear una nueva nave anexa, de dimensiones reducidas, que sirva para almacenamiento y picking de material.

Una vez se ha exportado la nave y generado el nuevo archivo de “NM3D”, obtendremos la siguiente estructura básica sobre la que se irá trabajando a partir de ahora:

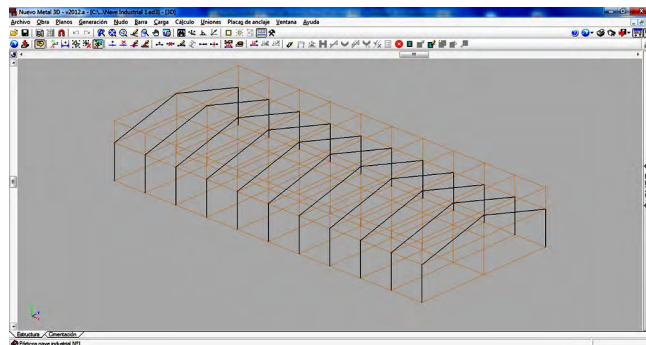


Figura 44. Pórticos nave principal exportados.

Debemos mencionar que al exportar la estructura no solo exportamos la geometría básica sino también las cargas de viento, nieve y sobrecargas de uso de la cubierta. A su vez, sabemos que “Nuevo Metal 3D” tiene ya introducidos los datos de las correas aunque estas no aparezcan dibujadas en ningún momento. Es importante tener en cuenta esto, ya que no debemos introducir de nuevo las correas, el peso de las mismas, las cargas en cubierta, etc.

Así pues, hechas todas las aclaraciones pertinentes en relación a la exportación de la nave completa desde el “Generador de Pórticos” al “Nuevo Metal 3D” procederemos a continuar con el diseño de nuestra nave industrial describiendo los pasos dados con el software CYPE y haciendo las aclaraciones pertinentes en cada momento.

4.2.3.1.- Geometría completa de la estructura.

En primer lugar, se completará la geometría de las cerchas añadiendo los cordones inferiores, los montantes y las diagonales. Deberá tenerse en cuenta para este proceso que se dispondrá diferentes tipos de pórticos en función de en qué zona de la nave nos encontremos, por lo que a continuación se definirá la geometría final de todos los pórticos de la estructura con sus correspondientes numeraciones:

Así pues, con la opción “Nuevo” del menú desplegable “Nudo” se introducen los cinco nudos intermedios sobre la línea de referencia del nudo inferior izquierdo de la nave.

Para ubicar los nudos en su coordenada exacta escribimos las cotas de la posición a partir del nudo que se emplee como referencia.

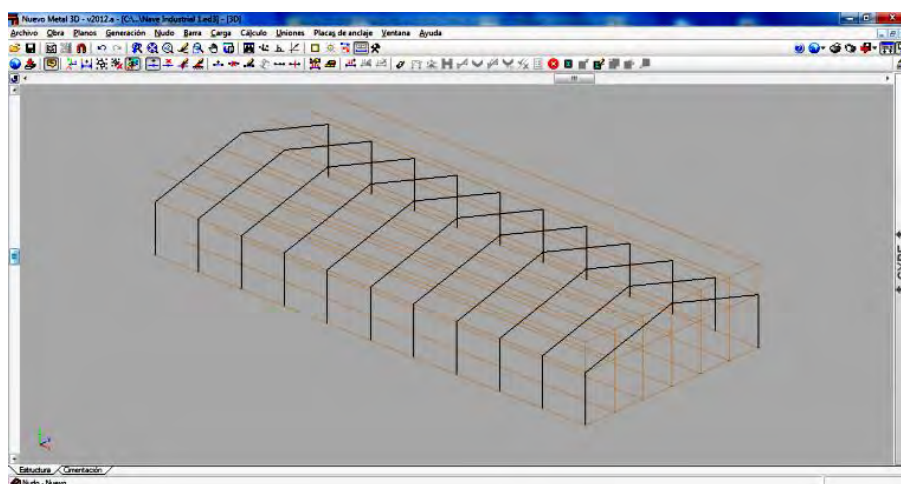


Figura 45. Pórticos nave principal exportados 2.

Una vez posicionados los nudos en la estructura, con la opción “Nueva” del menú desplegable “Barra” levantamos los pilares. Para llevar a cabo esta operación se seleccionará una vista 2D del plano que contiene el muro piñón (figura 47).

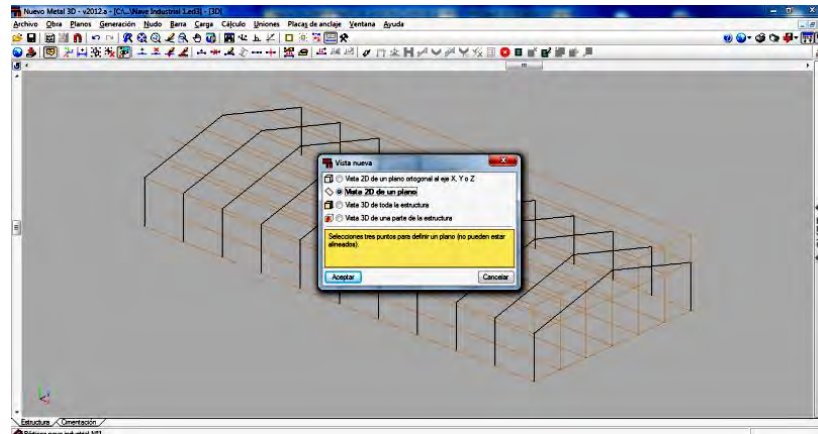


Figura 46. Ventana selección de plano vista.

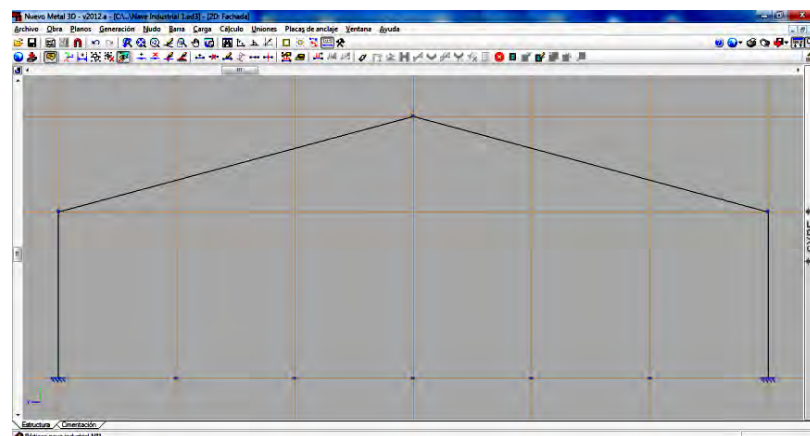


Figura 47. Ventana vista plano pórtico.

- *Pórtico de fachada:*

Es importante que a la hora de introducir barras en los pórticos esté activada la opción “Generar nudos en puntos de corte” del menú desplegable “Barra” ya que si no se considera esto el programa interpretará que las nuevas barras que hemos introducido no tiene contacto con los pilares intermedios y por tanto la estructura no tendría apoyos intermedios ni consistencia.

También es importante que consideremos el tamaño de las piezas (barras) que vamos a introducir, ya que si se añade una barra de extremo a extremo, el programa interpretará que la pieza será de 30 metros, pero si las introducimos de pilar a pilar, supondrá que las barras que usaremos en la ejecución de la obra son de 5 metros.

En este caso, se considera que las vigas que soportan el forjado son de 15 metros (dos vigas apoyadas en los extremos y el pilar medio) (figura 48).

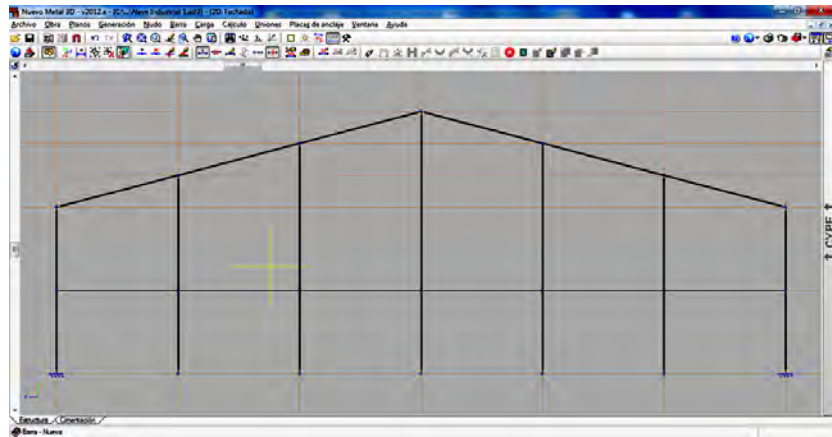


Figura 48. Pórtico 1

- Pórticos 2 y 3:

Realizando las mismas operaciones creamos las barras de los pórticos 2 y 3 que contienen los elementos de sustentación del forjado. Así mismo añadiremos los montantes y diagonales que aportan resistencia al pórtico para completar el diseño de los mismos y generar una cercha inglesa (figura 49).

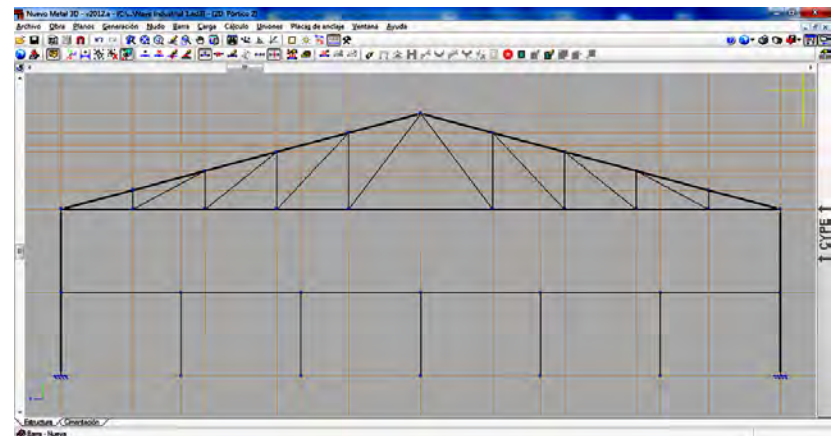


Figura 49. Pórticos 2 y 3.

- Pórticos 4, 5, 6 y 7:

Repetiendo los mismos pasos se crea la estructura de los siguientes pórticos intermedios. En este caso obviaremos la introducción de los elementos del forjado (figura 50).

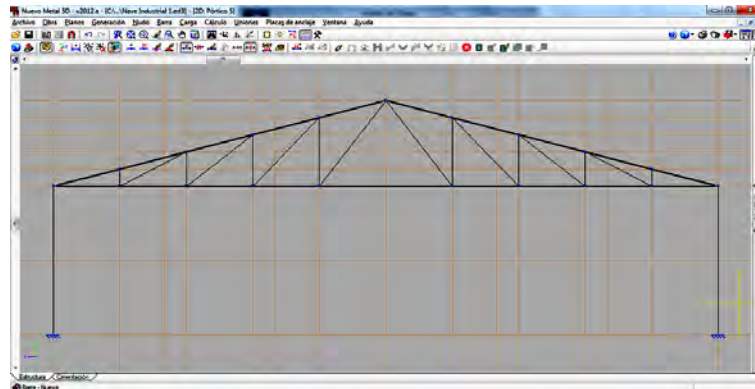


Figura 50. Pórticos 4 – 7.

Hasta este momento se han completado los pórticos pertenecientes exclusivamente a la nave principal.

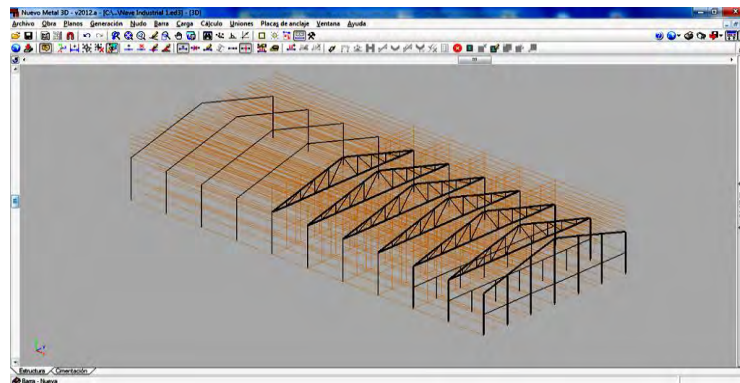


Figura 51. Vista parcial nave completa.

Ahora se completarán los pórticos que unen la nave principal con la nave almacén. Al compartir estas dos naves pilares intermedios, se procederá de la misma forma que con los pórticos anteriores pero creando uno nuevo anexo.

- *Pórtico 8 y fachada almacén:*

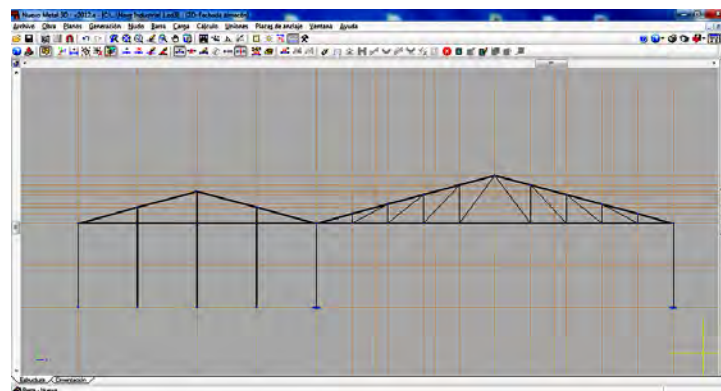


Figura 52. Pórtico 8

- *Pórticos 9 y 10 más interiores de almacén.*

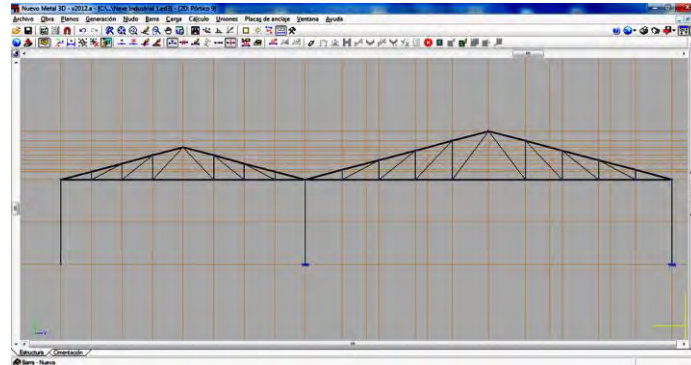


Figura 53. Pórticos 9 y 10.

- *Pórtico trasera nave principal y almacén.*

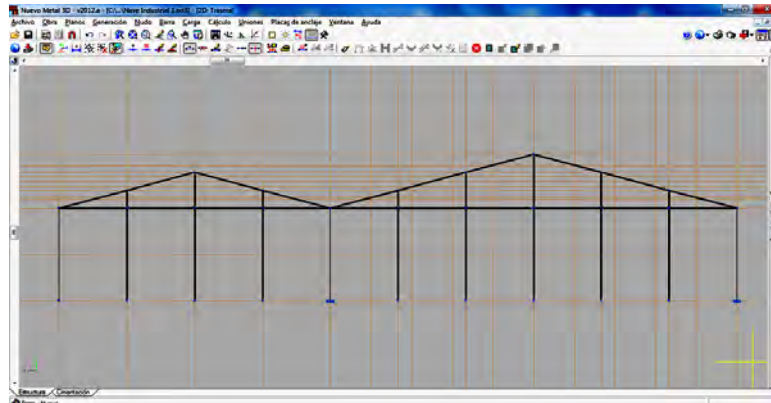


Figura 54. Pórtico 11.

Así pues, en este momento se tiene ya definida por completa toda la geometría de los pórticos de la estructura (figura 55).

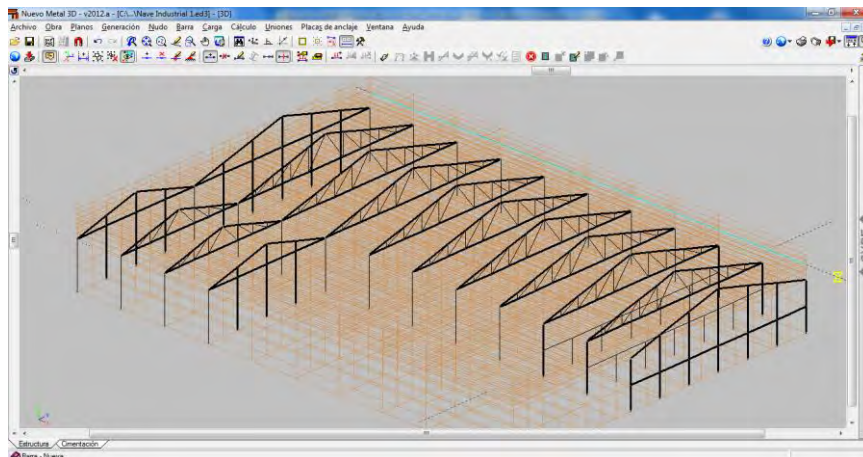


Figura 55. Pórticos completos.

Otro de los aspectos fundamentales que deben definirse en cualquier estructura tipo nave industrial es el arriostrado longitudinal de la misma. Esto es algo indispensable para cualquier estructura porticada, ya que un empuje frontal del viento puede provocar que ésta se derrumbe. De este modo, se ha creado un arriostrado longitudinal en los cordones superiores de las cerchas.

Para arriostrar correctamente la cubierta debe tenerse en cuenta la necesidad de arriostramiento del cordón inferior comentada durante el cálculo de los pandeos del pórtico. De este modo se dividió el cordón inferior en varios tramos de pando.

Generalmente para las naves industriales porticadas suele utilizarse un arriostramiento longitudinal de la estructura uniendo los cordones inferiores de todas las cerchas, con lo que se consigue además reducir el pando y la flecha del cordón inferior.

Para no desaprovechar el espacio entre el cordón inferior y el superior de una cercha, se suele recurrir a una solución constructiva que permite arriostrar correctamente la estructura y los cordones sin desperdiciar espacio: arriostramiento en K.

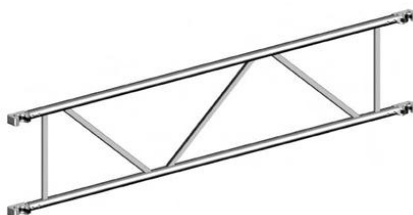


Figura 56. Arriostramiento en K.

Fuente: <http://www.bizkan.net/>

De este modo, se colocarán unos perfiles uniendo los cordones inferiores que proporcionaran la rigidez longitudinal a la estructura combinándolos en determinadas posiciones con perfiles en K que unan el cordón inferior de las cerchas con el punto medio de las vigas de arriostramiento. De esta forma, se generará una geometría en forma de K invertida (puede verse un esquema de esta configuración en el capítulo correspondiente a estructura definitiva).

Los perfiles que se utilizarán para estas uniones serán, para las barras entre cordones superiores tipo laminado IPE ya que poseen una buena resistencia al pando en su eje fuerte, y para los arriostramientos del cordón inferior dos perfiles en L soldados en forma de T que aportarán una buena rigidez al conjunto además de buena resistencia al pando.

Otro de los elementos fundamentales que deben unirse son las vigas de atado entre cabezas de pilares, cuyo cometido es el de garantizar que los pórticos no se desplomen unos respecto a otros. Para este cometido se utilizarán perfiles laminados IPE por tener una buena relación resistencia/precio.

Por último, antes de dejar la geometría de la estructura completamente definida, deben introducirse los elementos de arriostramiento longitudinal para repartir los esfuerzos axiales longitudinales mediante la rigidización: las cruces de San Andrés.

Los arriostramientos mediante cruces de San Andrés con tirante son la solución más utilizada pues son muy fáciles de montar y cumplen su función de forma excelente. De este modo, estos tirantes se definirán mediante cables metálicos que trabajan únicamente a tracción y que se suelen montar con un mecanismo que permite tensar los cables.



Figura 57. Tirantes de San Andrés.

Fuente: <http://concretoerikagm.blogspot.com.es/>

De este modo, se introducirán cruces de San Andrés mediante perfiles redondos de acero.

Una vez se ha terminado de definir toda la geometría de la nave industrial disponemos de su estructura completa a falta de definir los parámetros de comportamiento mecánico de la misma:

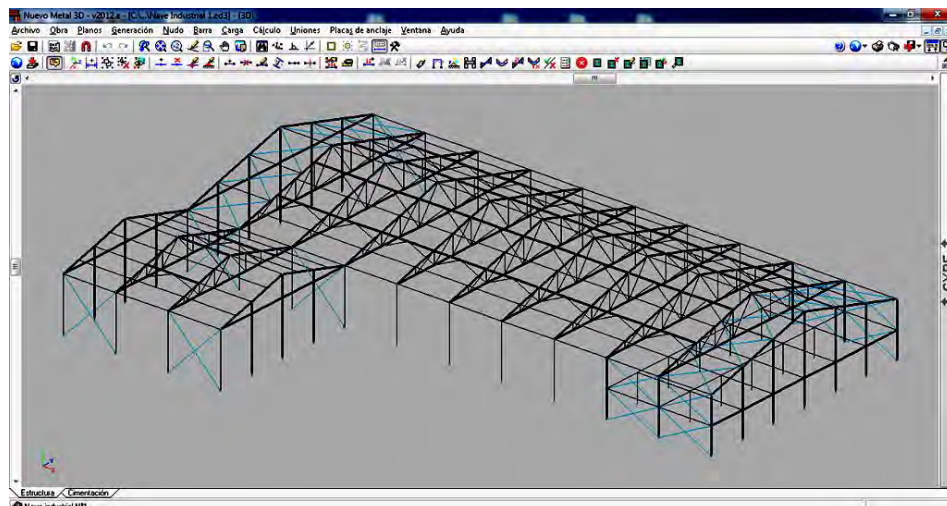


Figura 58. Estructura completa.

4.2.3.2.- Descripción de nudos y barras.

- *Descripción de los apoyos exteriores.*

Una vez introducidas todas las barras que van a formar parte de la estructura, incluidos elementos de arriostramiento, se pasa a describir los apoyos de la estructura (únicamente deberán describirse los nuevos apoyos ya que los iniciales vienen predefinidos por el Generador de Pórticos).

Utilizando la opción “Vinculación Exterior” del menú desplegable “Nudo” marcamos todos los nudos con apoyo que faltan por describir y determinamos su tipo de vinculación exterior.

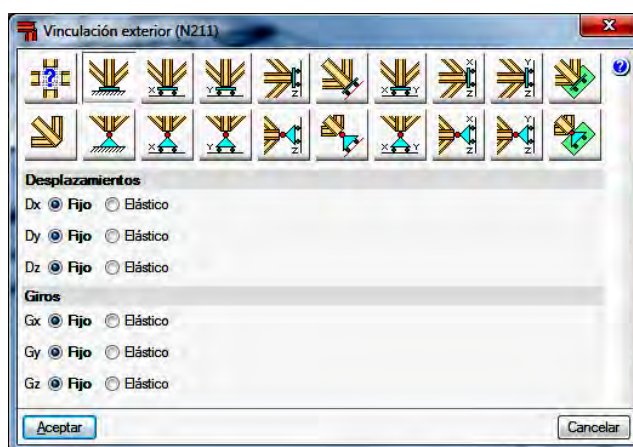


Figura 59. Descripción de apoyos.

Se determinamos que todos los apoyos y vinculaciones exteriores de los nudos son uniones empotradas, es decir, que la estructura se encuentra anclada al suelo mediante vinculación fija sin ningún tipo de movimiento.

- *Definición de los nudos.*

En este momento, deben definirse todos y cada uno de los nudos de la estructura (a excepción de los apoyos descritos en el punto anterior) ya que hasta ahora únicamente hemos dibujado los elementos que la constituyen.

En caso de querer articular los extremos de barras que confluyen en un nudo que es empotrado debemos utilizar la opción “Articular Extremos” del menú desplegable “Barra”. Si se selecciona el punto medio de las barras se articulan los dos extremos de la misma. En aquellas barras en las que únicamente se quiere articular uno de sus extremos basta con hacer clic sobre este.

Se articularemos también las vigas del forjado que se unen al alma de los pilares. Las vigas de los extremos del pórtico del muro piñón que contiene al forjado van a estar empotradas a los pilares exteriores pero articuladas a los interiores.

Debido a la gran cantidad de nudos que conforman la estructura debemos seguir un orden bien definido y evitar así olvidar definir alguno de los nudos:

- Cerchas: Se definirán los nudos de las cerchas de acuerdo a lo descrito durante el predimensionado de una cercha individual (punto 4.2.2.2.).
- Arriostramiento en K invertida: Para los nudos de estas barras definiremos uniones articuladas de modo que evitemos la transmisión de momentos y así estas barras trabajarán únicamente a tracción/compresión.
- Arriostramientos longitudinales: Se definirán estos nudos con uniones articuladas para evitar la transmisión de momentos entre pórticos y que estas barras trabajen únicamente a tracción/compresión.
- Cruces de San Andrés: En este caso la única opción que se tiene es la de definir las uniones como articuladas ya que estos elementos están pensados para trabajar únicamente a tracción (a compresión no se tiene en cuenta ya que al ser perfiles esbeltos pandearán libremente).

De este modo se tienen ya definidos todos los nudos de todas las barras de la nave industrial.

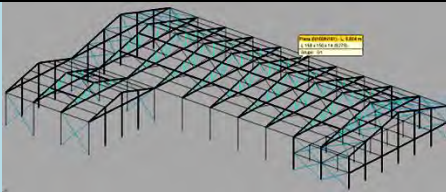
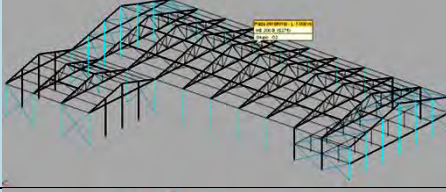
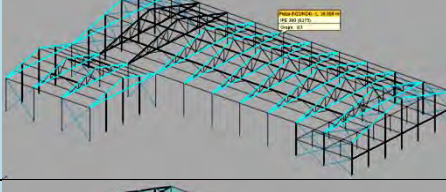
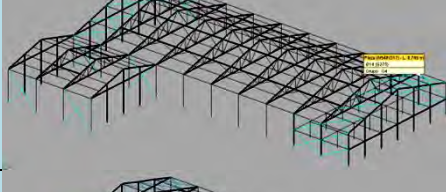
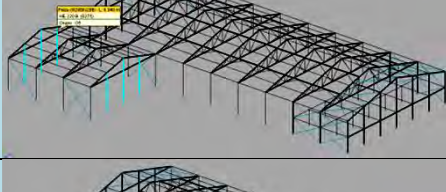
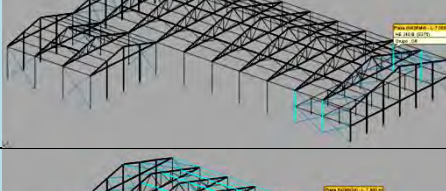
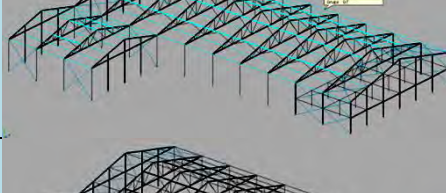
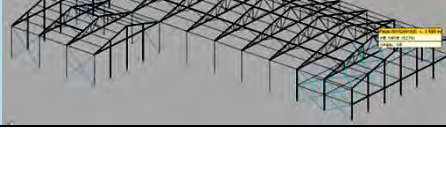
- *Agrupación de barras iguales.*

Debido a la distribución no simétrica de los huecos en la estructura, las cargas de viento tampoco serán simétricas. Por tanto, el dimensionado de las barras tras el cálculo puede no ser simétrico por lo que tendremos perfiles diferentes para cada una de las barras.

Si queremos evitar esto se necesitará emplear la opción “Agrupar” del menú desplegable “Barra”, de modo que obliguemos al software “Nuevo Metal 3D” a fijar los mismos perfiles para cada una de las barras pertenecientes a cada grupo. Esto permitirá además poder seleccionar con mayor rapidez y facilidad un conjunto de vigas con características iguales para poder modificarlas todas a la vez.

Así pues, se crearán una serie de grupos de barras en función de sus características y su situación dentro de la estructura de la nave. Para poder realizar este proceso de la forma más eficiente debe tenerse una ligera idea de cómo se comportará cada elemento dentro del conjunto, para así poder definir grupos y optimizar la estructura.

A continuación podemos ver los diferentes grupos creados en la tabla 7:

Grupo	Definición	Imagen
1	Montantes y diagonales de las cerchas.	
2	Pilares fachada principal y cerchas interiores (a excepción de cerchas de forjado 2 y 3).	
3	Cordones de cerchas excepto cerchas 9 y 10 de nave principal.	
4	Cruces de San Andrés.	
5	Pilares interiores de fachada y trasera nave auxiliar.	
6	Pilares pórticos 2 y 3 (pilares de forjados).	
7	Arriostramientos longitudinales entre pórticos.	
8	Pilares del forjado interior.	

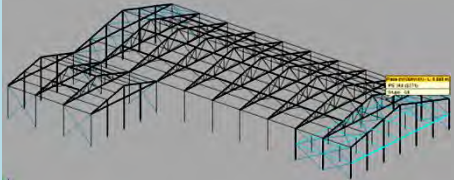
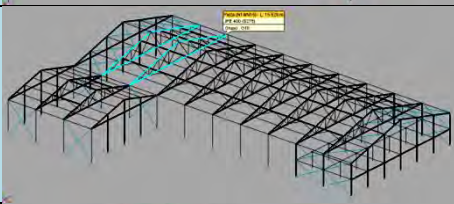
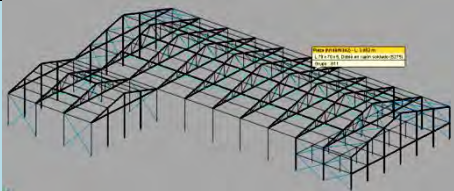
9	Vigas forjado interior.	
10	Cordones cerchas 9 y 10 nave principal.	
11	Cordones arriostramiento K invertida.	

Tabla 7. Agrupaciones de barras.

De esta forma se quedarán agrupadas todas las barras de mismo perfil, y si se hace una modificación en una de ellas se verá reflejada en el resto de su mismo grupo.

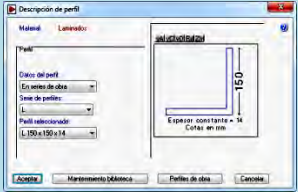
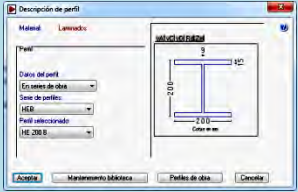
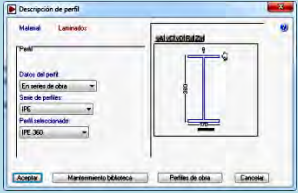
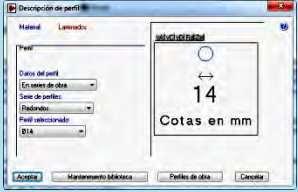

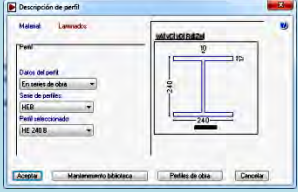
- *Asignación de perfiles y material a las barras.*

Resulta fundamental el paso de definición del perfil de todas y cada una de las barras que forman la estructura. Aunque pueda parecer laborioso, este proceso se simplifica gracias a las agrupaciones de barras realizadas anteriormente, de modo que se definirá no un perfil para cada barra, sino un perfil para cada grupo.

A la hora de determinar el perfil inicial del que partiremos para que el programa “Nuevo Metal 3D” pueda calcular el idóneo deben tenerse en cuenta los resultados obtenidos durante el predimensionado del pórtico tipo. Cuanto más cerca del resultado idóneo nos encontremos menor será el tiempo que invierta el programa en calcularlo.

Para poder definir los perfiles de las barras que componen la estructura así como el material que los componen debemos utilizar la opción “Describir perfil” del menú desplegable “Barra”.

Podemos consultar a continuación en la tabla 8 cada uno de los perfiles iniciales seleccionados para cada agrupación de barras, considerando una predimensionalización basada en razonamientos aceptables.

Grupo	Definición	Perfil predimensionado
1	Montantes y diagonales de las cerchas.	<p>L 150 x 150 x 14</p> 
2	Pilares fachada principal y cerchas interiores (a excepción de cerchas de forjado 2 y 3).	<p>HEB - 200</p> 
3	Cordones de cerchas excepto cerchas 9 y 10 de nave principal.	<p>IPE - 360</p> 
4	Cruces de San Andrés.	<p>Ø14</p> 
5	Pilares interiores de fachada y trasera nave auxiliar.	<p>HEB - 220</p> 
6	Pilares pórticos 2 y 3 (pilares de forjados).	<p>HEB - 240</p> 



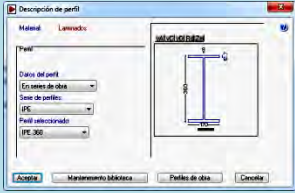

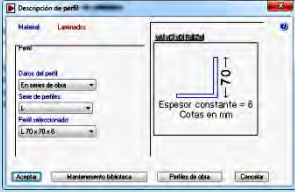
7	Arriostramientos longitudinales entre pórticos.	IPE - 100 
8	Pilares del forjado interior.	HEB - 180 
9	Vigas forjado interior.	IPE - 360 
10	Cordones cerchas 9 y 10 nave principal.	IPE - 400 
11	Cordones arriostramiento K invertida.	2 x L x70 x 70 x 6 

Tabla 8. Perfiles iniciales.

Así mismo, el material escogido para todas las barras de la estructura será, como ya se indicó en anteriores apartados, acero S235 que es el más común para este tipo de construcciones.

De este modo ya se tienen definidos todos los perfiles de las barras que conforman la presente nave industrial así como los materiales a utilizar para su construcción.

- *Disposición de los perfiles.*

En este paso se debe comprobar que la disposición de las barras (el ángulo y el enrase correcto) es el deseado. Esto resultará muy importante de acuerdo a que el comportamiento de los perfiles en acción con las cargas será diferente en función de la disposición que estos tengan ya que cada perfil tiene unas características intrínsecas de comportamiento ante acciones exteriores.

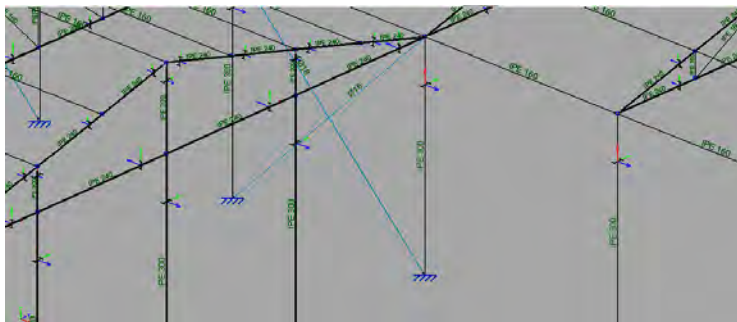


Figura 60. Disposición de perfiles.

4.2.3.3.- Hipótesis de cargas.

Una vez hemos terminado de describir totalmente la geometría de la estructura debemos añadir aquellas hipótesis de carga que son adicionales a las que ya ha creado el “Generador de Pórticos”. Este proceso no es sencillo, por lo que a continuación se detallarán los pasos dados durante la introducción de las hipótesis adicionales de carga.

Para poder cargar correctamente la estructura se debe atender a lo indicado en las normativas consideradas para la realización del presente proyecto. En este caso, cargaremos la estructura cumpliendo la normativa CTE-DB-SE-AE.

Antes de proceder a la introducción de las cargas debemos tener en cuenta el número de hipótesis que se van a utilizar. Cada hipótesis representa una combinación determinada de cargas que puede darse según en qué situación nos encontremos. De este modo el programa calculará el perfil adecuado para cada barra atendiendo a la hipótesis más desfavorable que puede darse en esa barra concreta. Para poder considerar qué hipótesis es la más desfavorable la norma marca una serie de coeficientes de mayoración (CTE-DB-SE, epígrafe 4, tabla 4.1.) que el programa aplicará sobre las cargas introducidas sin mayorar.

- *Cargas del forjado.*

Como para este proyecto en concreto se ha añadido un forjado para oficinas debemos crear una nueva hipótesis de sobrecarga de uso. Para esto, se utilizará la opción “Acciones” del menú desplegable “Obra” (figura 61).

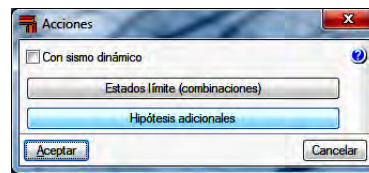


Figura 61. Hipótesis adicionales.

Escogiendo la opción de “Hipótesis Adicionales” podemos editar o añadir hipótesis de sobrecarga (figura 62).

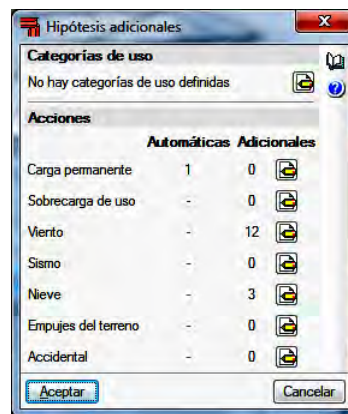


Figura 62. Hipótesis adicionales 2.

Vemos que el generador de pórticos ha creado ya una hipótesis de carga permanente, 12 hipótesis de viento y 3 de sobrecarga de nieve.

En este caso, se definirá un uso para la estructura de zona administrativa (se trata de sobrecarga sobre el forjado para oficinas) (figura 63).

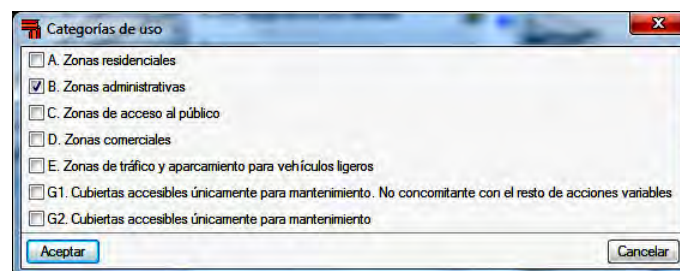


Figura 63. Hipótesis adicionales 3.

Una vez creada la hipótesis de sobrecarga de uso deben introducirse las cargas de dicha hipótesis. Para esto, se utilizará la opción “Introducir paño” del menú “Carga”.

Para introducir el paño del forjado seleccionamos todos los puntos que forman el polígono del mismo. Tras esto se pulsa con el botón derecho del ratón y se escoge la dirección de reparto de las cargas aplicadas (en nuestro caso paralelo a la longitudinal de la nave) (figura 64).

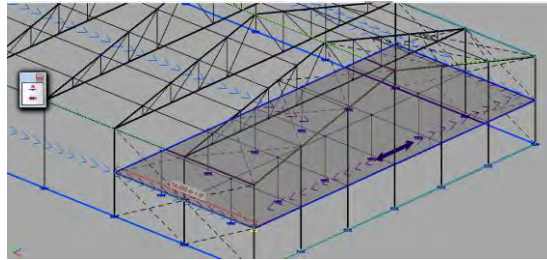


Figura 64. Paño para carga en el forjado.

A continuación se añadirán las cargas asociadas a este paño. Cada carga corresponderá a una hipótesis (figura 65).

- Cargas permanentes (peso propio del forjado): 3.7 KN/m^2 . Vertical hacia abajo.
- Cargas permanentes (solado del forjado): 1.2 KN/m^2 . Vertical hacia abajo.
- Sobrecarga de uso (Q1): 2 KN/m^2 . Vertical hacia abajo.



Figura 65. Cargas en paño.

Para consultar el reparto de cargas que ha efectuado el software, seleccionamos la hipótesis que queremos visualizar en la opción “Hipótesis Vista” del menú desplegable “Cargas” (figura 66).

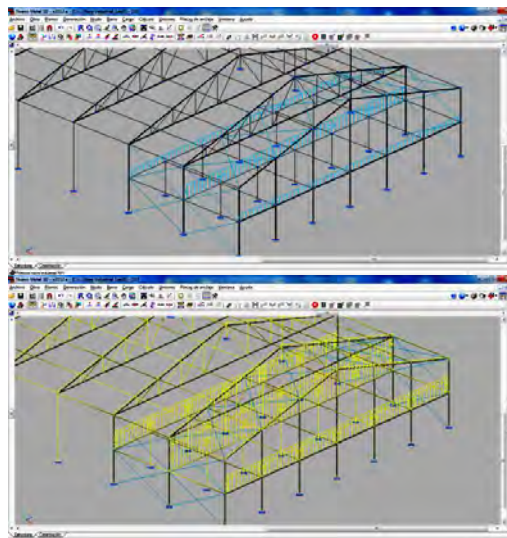


Figura 66. Carga en el forjado.

- *Cargas de viento y nieve.*

En este caso nos referimos a todas aquellas cargas actuantes sobre la estructura como consecuencia del efecto del viento o de la nieve. En este caso, las cargas de viento y nieve las introduce automáticamente el “Generador de Pórticos”. No obstante, el módulo “Nuevo Metal 3D” permite la introducción manual de nuevas cargas de viento y nieve.

El software Cype permite consultar las cargas superficiales generadas para cada una de las hipótesis de viento y de nieve. Si además se quieren consultar las cargas superficiales producidas por el generador de pórticos debe activarse la opción “Editar carga superficial” del menú “Cargas”. El programa generará las cargas para cada paño tanto para la presión interior como la exterior de forma separada.

En este caso en particular, debido a que se ha añadido una nave anexa a la nave principal (nave almacén) fuera del generador de pórticos, las cargas por esfuerzos de viento y nieve no se han aplicado a esta estructura. De este modo, deben añadirse tantos paños sean necesarios en la nave almacén para cumplir con las hipótesis de carga de viento y nieve (figura 67).

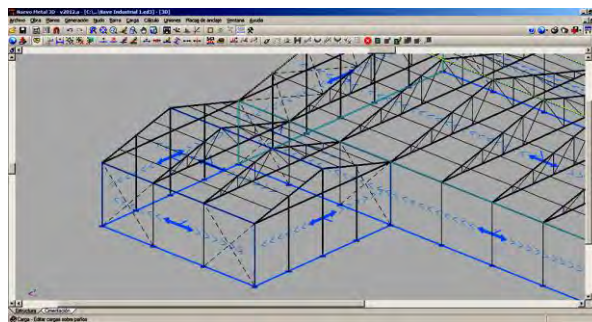


Figura 67. Cargas de viento adicionales 1.

Se aplicarán las mismas distribuciones de cargas permanentes que hay sobre la nave principal puesto que la geometría de esta es la misma, y las incidencias de viento de este modo también lo serán (figura 68).

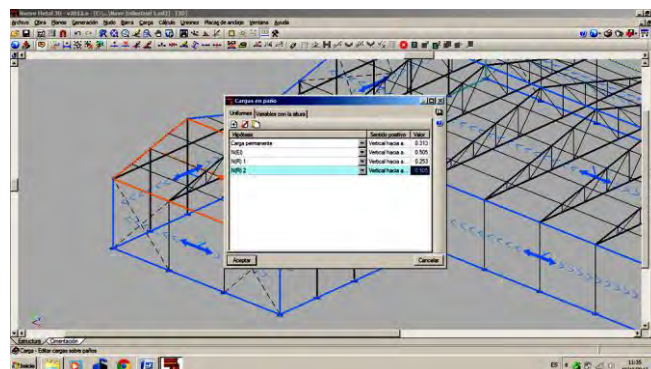


Figura 68. Cargas de viento adicionales 2.

Para las sobrecargas de viento deben introducirse nuevas cargas superficiales de acuerdo a las distribuciones de hipótesis de la nave principal. Para ello se deben añadir una por una todas las hipótesis de viento en las distintas direcciones (figura 69).

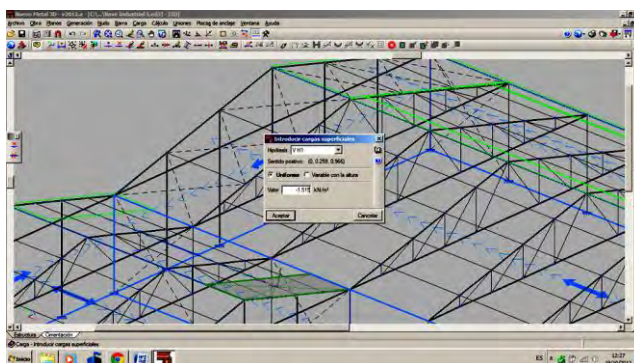


Figura 69. Cargas de viento adicionales 3.

De este modo, podemos ver las distintas distribuciones de cargas sobre la totalidad de la estructura, ya sean de forma independiente o en conjunto:

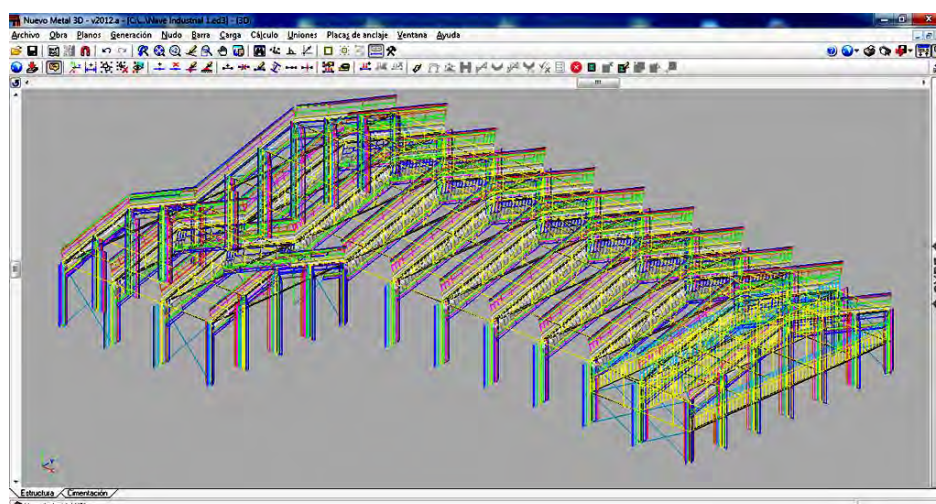


Figura 70. Cargas de viento totales.

4.2.3.4.- Introducción de pandeos y flechas.

- *Introducción de flechas.*

Un aspecto muy importante que debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar y calcular cualquier nave industrial es lo que en el CTE se conoce como “Aptitud de Servicio”. De este modo, debemos tener en cuenta las limitaciones de deformación y flecha que hay que imponer para evitar situaciones en las que flechas excesivas puedan provocar grietas y deformaciones en los elementos del edificio.

Así pues, deben introducirse, al igual que se hizo en el cálculo del pórtico tipo, las limitaciones de flechas en aquellas barras que sean susceptibles de sufrir grandes deformaciones.

De este modo, se limitarán los siguientes grupos de barras con una flecha máxima en sentido vertical sobre el plano local XZ de $L/300$ de acuerdo a lo establecido por el CTE.

- Vigas de arriostramiento longitudinal.
- Vigas de arriostramiento del cordón inferior de las cerchas (K invertida)
- Cordón superior de las cerchas.
- Cordón inferior de las cerchas (en este caso sobre el plano local XY para limitar el pandeo lateral).
- Vigas horizontales de forjado de oficinas.

Así pues se tienen ya delimitadas todas las flechas de aquellos elementos más susceptibles de la nave industrial.

- *Introducción de pandeos.*

Una vez definidos todos los estados de cargas a los que se somete la estructura y las limitaciones de desplazamientos de los elementos de la misma, deben definirse los coeficientes de pandeo de todas aquellas barras introducidas mediante el “Nuevo Metal 3D” (las barras introducidas por el generador de pórticos ya tienen definidos sus respectivos coeficientes).

Para asignar los coeficientes de pandeo seleccionamos la opción “Pandeo” del menú desplegable “Barra”. Deben seleccionarse las vigas por grupos en función de su perfil, ya que estas padrearán de diferente modo según sus coacciones internas y su distribución dentro de la nave.

Resulta necesario recordar el procedimiento de definición de pandeos llevado a cabo en el apartado 4.2.2.4 cuando se calculaban los coeficientes de pandeo más adecuados para la dimensionalización del pórtico tipo. De este modo, siguiendo las mismas pautas, seleccionaremos los siguientes coeficientes de pandeo para los elementos de la estructura:

Para las vigas IPE-100 correspondientes a los arriostramientos entre pórticos y a las vigas del arriostramiento en K invertida se seleccionará un coeficiente de pandeo $\beta = 0$ en el plano XY, manteniendo el valor 1 en el otro plano. Esto se debe a que se considera que estas barras no pandearán puesto que debería entrar en carga toda la estructura, ya que están unidas al panel de cobertura con fijación rígida y a su vez la nave empleará como cerramiento placas de hormigón de 150mm de espesor (figura 71).

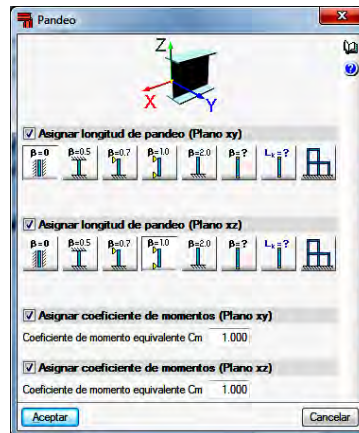


Figura 71. Pandeos.

Para las vigas IPE-360 correspondientes a las uniones en el forjado de los dos pórticos que soportan al mismo se realizará lo mismo que en el caso anterior ya que se dispone de un forjado que impide el pandeo del perfil en el plano XY.

Para los pilares del forjado con perfil HEB-180 se considerará un $\beta = 0.7$ empotrado en su base y articulado en la cabeza en ambos planos (figura 72).

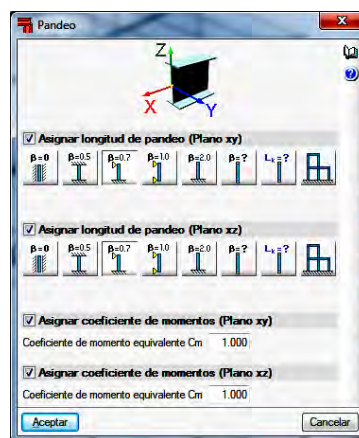


Figura 72. Pandeos 2.

Para finalizar, los pilares de todos los pórticos HEB van a tener impedido el pandeo en el plano XY de su perfil debido a el cerramiento lateral.

- *Pandeo lateral.*

Debido a las hipótesis de succión del viento en la cubierta puede llegarse a producir pandeo lateral del ala inferior de los dinteles de los pórticos. Para definir los parámetros se utiliza la opción “Pandeo Lateral” del menú “Barra” y se seleccionarán las vigas de perfil IPE que forman la cubierta.

En el ala interior de estas vigas se coloca un tornapuntas para correas con una longitud libre de pandeo de $L_b = 3.106 \text{ m}$ en los dinteles de la nave principal. Para los dinteles de la nave almacén se considera $L_b = 2.588 \text{ m}$. Para los pilares de los pórticos HEB se coloca arriostrado el pandeo lateral.

4.3.- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA COMPLETA.

Llegados a este punto, tenemos plena capacidad para poder calcular la estructura completa con el software comercial CYPE INGENIEROS y específicamente con su módulo “Nuevo Metal 3D”.

Será en este momento cuando podamos valorar la predimensionalización previa realizada y se podrá comprobar la funcionalidad y adecuación de las soluciones adoptadas para el diseño de la nave.

De este modo, una vez definida toda la geometría de la estructura, considerando todas las cargas que actúan sobre ella, y definiendo las propiedades de cada barra, podemos calcular la estructura y comenzar la fase de dimensionamiento óptimo de la misma.

Para calcular la estructura se selecciona la opción “Calcular” del menú desplegable “Cálculo”. Tras esto, aparecerá una ventana que nos preguntará el tipo de dimensionamiento que se desea realizar (figura 73):

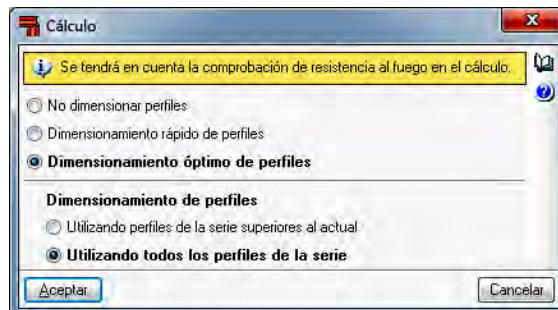


Figura 73. Ventana de selección del cálculo.

En este caso se realizará un cálculo con dimensionamiento óptimo de los perfiles utilizando todos los perfiles de la serie.

4.3.1.- Comprobación de las barras y optimización de la estructura.

Una vez ha terminado el proceso de cálculo de la estructura puede verse que todas las barras de la estructura cumplen con alguno de los perfiles de la serie seleccionada, y que, además, esos perfiles no difieren mucho de los seleccionados durante la predimensionalización ya que el tiempo de cálculo ha terminado en apenas unos minutos.

Puede verificarse por tanto mediante el módulo “Nuevo Metal 3D” si el predimensionado inicial es válido utilizando la opción “Comprobar barras” del menú desplegable “Cálculo”. Con esto puede comprobarse si se ha de modificar alguna de las barras y volver a calcular la estructura.

Al seleccionar esta opción, se marcaran en rojo todas aquellas barras que no verifican para el estado actual de cargas. En este caso, no hay ninguna barra que no verifique, y por tanto toda la estructura aparece marcada en verde (figura 74).

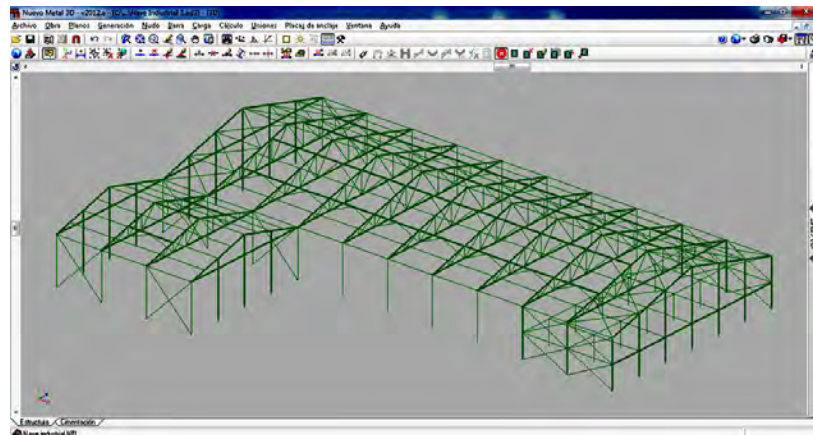


Figura 74. Vista de comprobación de barras.

Para comprobar la efectividad de los perfiles seleccionados, pulsando sobre cualquiera de las barras aparecerán todos los perfiles de la serie que cumplen con las condiciones, y sombreado en azul aquel que actualmente se han seleccionado (figura 75):

Perfil	Peso	Resistencia	Resistencia incendio	Errores
✗ IPE 80	6.00	-----	-----	No es posible realizar la com...
✗ IPE 100	8.09	-----	-----	El axil de compresión es exc...
✗ IPE 120	10.36	-----	-----	El axil de compresión es exc...
✗ IPE 140	12.87	2172.25 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 160	15.78	1300.64 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 180	18.76	857.10 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 200	22.37	579.20 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 220	26.22	412.30 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 240	30.69	298.51 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 270	36.03	213.94 %	-----	No es posible calcular el esp...
✗ IPE 300	42.23	158.07 %	91.08 % (266.5 °C / 20 mm)	
✗ IPE 330	49.14	130.95 %	76.53 % (329.5 °C / 15 mm)	
✗ IPE 360	57.07	101.62 %	57.47 % (312.0 °C / 15 mm)	
✓ IPE 400	66.33	78.91 %	43.59 % (299.5 °C / 15 mm)	
✓ IPE 450	77.56	60.99 %	32.88 % (284.0 °C / 15 mm)	
✓ IPE 500	91.06	47.67 %	25.07 % (268.5 °C / 15 mm)	
✓ IPE 550	105.19	39.24 %	20.17 % (255.0 °C / 15 mm)	

No se han definido límites de flecha
Revestimiento de protección: Projectado de fibras minerales

Significado de los iconos:
✗ Perfil que no cumple alguna comprobación.
✓ Perfil que cumple todas las comprobaciones.

Aceptar Cancelar

Figura 75. Ventana comprobación perfiles de barras.



Puede observarse que hay perfiles menores dentro de la serie que cumplen con todas las comprobaciones, no obstante, no se modificarán estos perfiles hasta que se haya comprobado el estado tensional de esta barra para poder escoger de forma más acertada.

Para seleccionar los perfiles definitivos de todos los grupos de barras de la nave industrial debe llevarse a cabo un proceso de optimización como el llevado a cabo durante el dimensionado del pórtico tipo. Este proceso no se mostrará pues no aportaría nada nuevo a la presente memoria.

Una vez calculada y optimizada toda la estructura, se mostrará a continuación todos los perfiles seleccionados para cada agrupación de barras (tabla 9).

Grupo	Definición	Perfil predimensionado
1	Montantes y diagonales de las cerchas.	2 x L x 150 x 150 x 15 (T)
2	Pilares fachada principal y cerchas interiores (a excepción de cerchas de forjado 2 y 3).	HEB - 200
3	Cordones de cerchas excepto cerchas 9 y 10 de nave principal.	IPE - 360
4	Cruces de San Andrés.	Ø16
5	Pilares interiores de fachada y trasera nave auxiliar.	HEB - 220
6	Pilares pórticos 2 y 3 (pilares de forjados).	HEB - 220
7	Arriostramientos longitudinales entre pórticos.	IPE - 100
8	Pilares del forjado interior.	HEB - 160
9	Vigas forjado interior.	IPE - 330
10	Cordones cerchas 9 y 10 nave principal.	IPE - 400
11	Cordones arriostramiento K invertida.	2 x L x 70 x 70 x 6 (T)

Tabla 9. Selección de perfiles definitivos.

Puede verse cómo el predimensionado que se realizó antes del cálculo de la estructura efectivamente no estuvo muy desencaminado de los resultados óptimos seleccionados por el “Nuevo Metal 3D”.

Como reflexión, cabe decir que resulta comprensible el hecho de que se separasen las barras de la estructura en diferentes grupos, ya que podemos ver que una solución lo más cercana a la ideal determina diferentes secciones en función del grupo al que pertenecen. Cabe decir que si no hubiésemos creado ningún grupo, cada una de las barras de la estructura estaría calculada y optimizada al máximo, y que por tanto esa sería la solución ideal desde el punto de vista tensional. No obstante, esto no resulta compatible con una ejecución sostenible de la obra, ya que puede resultar mucho más interesante económica y constructivamente agrupar perfiles que tener cada uno diferente del otro.

4.3.2.- Dimensionamiento de las uniones.

Una de las nuevas características que ofrece el programa “Nuevo Metal 3D” es el cálculo y dimensionamiento de una gran cantidad de uniones, tanto soldadas como atornilladas, además de uniones con tornillos pretensados.

No obstante, aunque bastante numeroso, el número de uniones disponibles para dimensionar es limitado, por lo que únicamente puede realizarse el cálculo para aquellas uniones de la estructura que se encuentren dentro de los listados de uniones disponibles:

http://nuevometal3d.cype.es/uniones_soldadas.htm#tipologiasuniones

http://nuevometal3d.cype.es/uniones_atornilladas.htm#tipologiasatornilladas

http://nuevometal3d.cype.es/uniones_soldadas_edificacion.htm#tipologias

Si durante el proceso de cálculo el programa puede resolver una unión, este dimensionará dicha unión, proporcionando un plano de detalle de la misma. Además, se dimensionarán los espesores de garganta y la longitud de las soldaduras, y se incorporarán rigidizadores en el caso en el que sean necesarios para la transmisión de tensiones en la unión.

Para la estructura se realizará un cálculo, a modo de ejemplo de resultados, de uniones soldadas por un lado, y atornilladas por otro.

Tras realizar el cálculo, se podrán consultar las uniones que el programa ha resuelto utilizando la opción “Consultar” del menú desplegable “Uniones”.

Al seleccionar esta opción se marcarán con un círculo verde aquellas uniones que el programa ha podido dimensionar, y con un círculo rojo aquellas que el programa no ha podido resolver por falta de coincidencias en su base de datos de uniones.

Aquellas uniones marcadas en naranja corresponden a nudos que el programa no ha podido calcular pero que sí corresponden a alguna de las uniones reconocidas por el programa. Acercándonos a estos puntos aparecerá un bocadillo con las causas por las que no se ha podido dimensionar la unión.

Hay varios motivos por los que el programa no puede dimensionar aunque si reconozca el tipo:

- Empotramiento de un perfil en el alma de otro.
- Interferencia entre perfiles.
- Interferencia entre perfiles y rigidizadores.
- Espesor de la pieza → En nuestro caso las uniones con las cruces de san Andrés no pueden dimensionarse mediante soldadura debido a que no se cumple la norma de que el espesor de garganta del cordón sea mayor que 0,7 veces el espesor de la pieza que los une. → Estas uniones si podemos dimensionarlas con uniones atornilladas (pero únicamente podemos dimensionar un tipo a la vez).
- Ortogonalidad.
- Angulo.

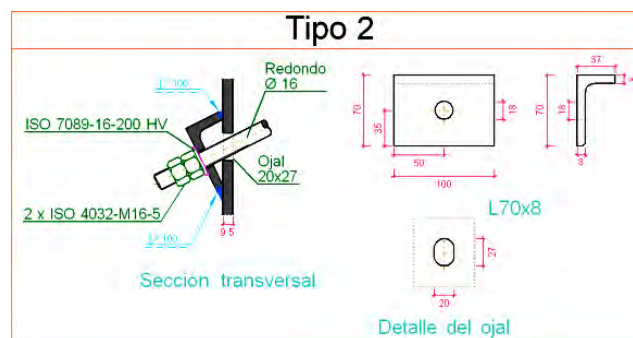


Figura 76. Esquema unión cruz de San Andrés.

Podrá consultarse el detalle de todas las uniones calculadas en la sección de anejos del presente proyecto, en particular en el Anejo B, donde se muestran los ejemplos de algunas de las uniones atornilladas o soldadas.

4.3.3.- Consulta de esfuerzos y tensiones.

Una de las múltiples y muy útiles funciones que ofrece el módulo de CYPE “Nuevo Metal 3D” es la de la visualización de los diferentes diagramas de envolventes, esfuerzos, desplazamientos, etc. Consultando estos resultados se podrán comprobar que efectivamente la estructura se comporta como se esperaba o que no se ha cometido ningún error grave.

Activando la opción “Envolventes” del menú desplegable “Cálculo” y seleccionando el apartado “Tensión/Aprov.” podremos ver que se dibujara sobre el plano XZ de cada una de las barras la ley del estado tensional de la misma, siendo en color verde la zona que verifica la tensión y en rojo la que no (figura 77).

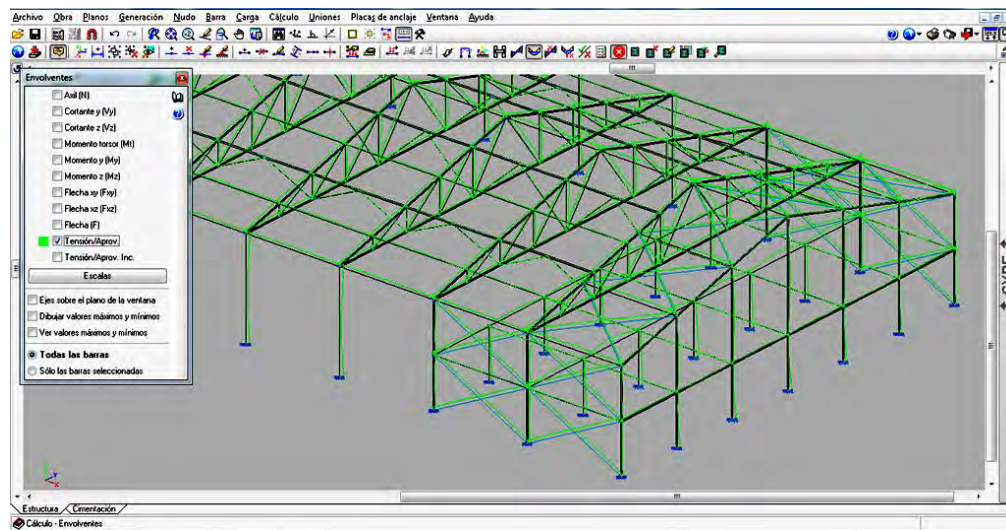


Figura 77. Ventana de comprobaciones de tensión.

Puede verse que en la presente estructura ningún coeficiente de empotramiento supera la unidad (100%), por lo que no se excede en ningún caso la resistencia del perfil.

Las medidas a adoptar a partir de aquí dependen de las soluciones prácticas que cada persona decida aplicar. En este caso se podrán modificar los perfiles de aquellas barras que tengan un coeficiente de aprovechamiento más bajo para ahorrar peso y reducir el precio de la obra, no obstante es preferible tener un ligero sobredimensionamiento para aumentar el peso de la estructura y evitar así efectos de despegue de las zapatas por acciones de succión del viento.

A continuación se consultarán y analizarán una serie de diagramas sobre una de las cerchas típicas con el fin de entender bien qué se ha calculado:

- Diagrama de momentos en y (M_y).

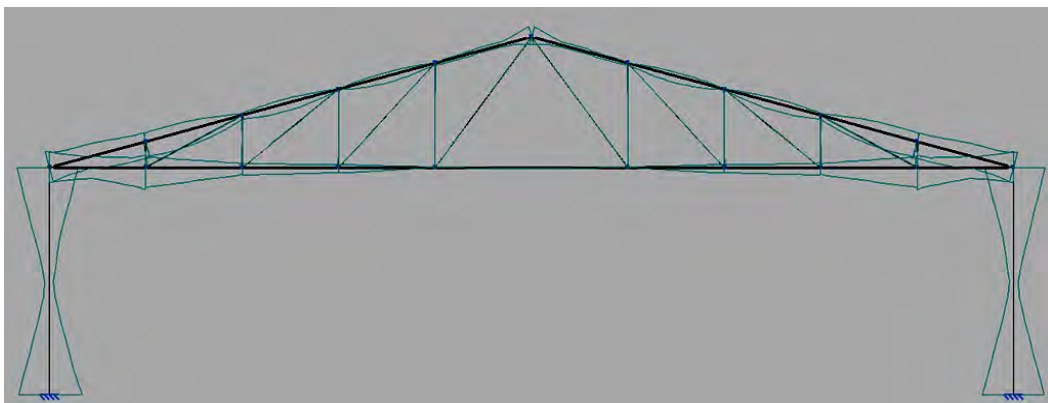


Figura 78. Diagrama de momentos en Y.

Gracias a este diagrama puede verse como efectivamente la zona con mayores solicitaciones a flexión son los extremos de los cordones de la cercha así como las cabezas y los pies de los pilares metálicos. Esto se debe, como ya se había previsto, al tipo de unión empotrada de estos elementos junto con la distribución de las tensiones flectoras en estas zonas en concreto.

Esto además indica los motivos por los cuales estos extremos de los cordones eran los que limitaban la optimización de la sección escogida. Una opción hubiese sido la de seleccionar vigas de perfil variable, pero en este caso, teniendo en cuenta la magnitud de la estructura, hubiese sido mucho menos económico que escoger el perfil limitante de los extremos de las cerchas.

Otro punto interesante a comentar es que puede verse que los montantes y diagonales de unión entre los cordones de la cercha apenas transmiten esfuerzos flectores. Esto se debe a que, como ya se comentó, una estructura triangulada cargada en sus nudos transmitirá principalmente esfuerzos axiales de tracción y compresión independientemente de si estos son articulados o reticulados.

- Deformada (D).

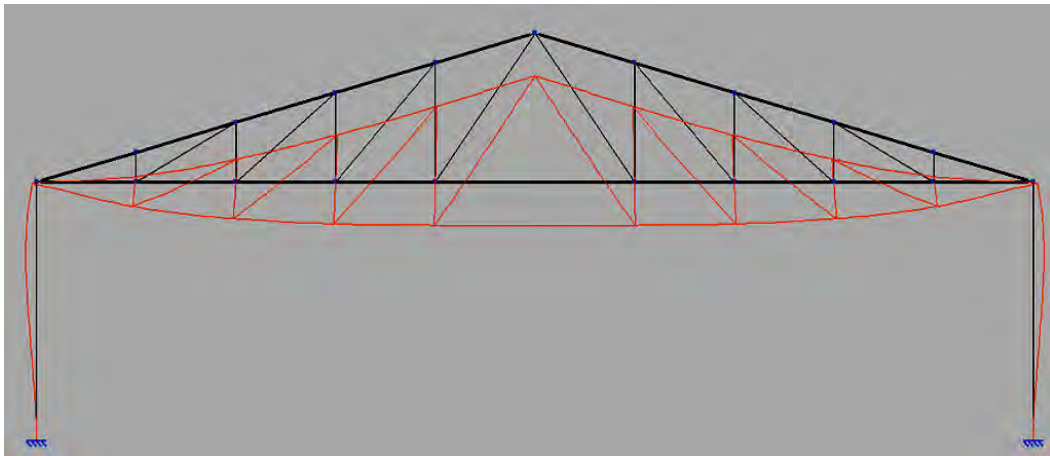


Figura 79. Diagrama de deformada.

En este caso puede comprobarse que efectivamente la máxima deformación se produce en el dintel de la cercha, ya que es este el punto más alejado de los apoyos en los pilares metálicos.

Gracias también a este gráfico de la deformada podemos comprobar que efectivamente al ser los apoyos empotrados de la cabeza y el pie de los pilares la deformada es menor, y que por tanto los flectores aumentarán como se vio en el anterior gráfico.

- Envolvente de flecha.

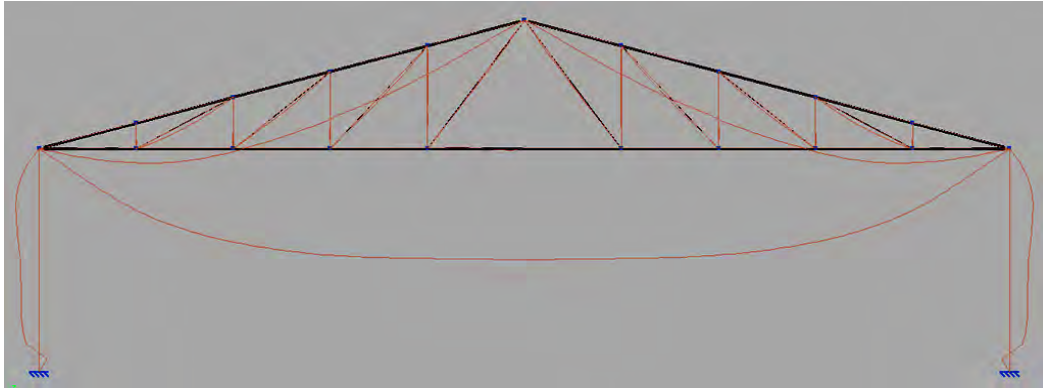


Figura 80. Diagrama de envolvente de la flecha.

En el diagrama de envolventes para la flecha lo que más información puede aportar es que efectivamente el cordón inferior tiene las mayores flechas, lo cual es lógico ya que éste se encuentra mucho menos arriostrado que el superior, por lo que a priori debe sufrir mayor flecha.

- Diagrama de esfuerzos cortantes.

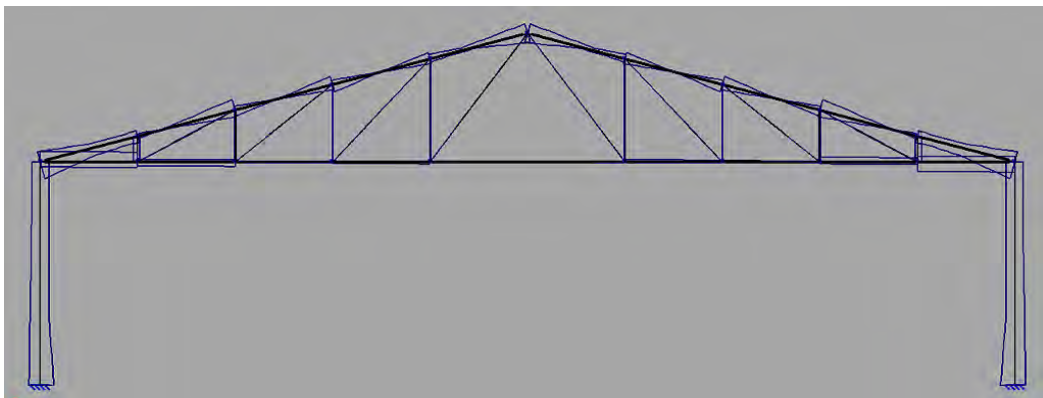


Figura 81. Diagrama de esfuerzos cortantes.

En este caso puede verse, al igual que en el diagrama de esfuerzos flectores, que los mayores cortantes se producen en los puntos de la cercha más restringidos al movimiento (cabeza y pies de pilares metálicos y extremos de las cerchas). Esto se debe principalmente a la gran luz de la que dispone la estructura.

Hay que volver a destacar también en este caso el hecho de que los montantes y las diagonales de la cercha apenas soporten esfuerzos cortantes. Esto se vuelve a explicar por el hecho de cargar una estructura triangulada únicamente en sus nudos, lo que hace que estas barras sufran prácticamente solo axiles.

Evidentemente debe decirse que para cada pórtico de la estructura estos esfuerzos serán diferentes ya que cada uno se comporta de una forma dentro de la estructura. No obstante, todos los elementos “hermanos” dentro de la nave tienen un comportamiento similar, por lo que podemos considerar que no se tiene ningún error significativo dentro del diseño de la misma.

4.4.- PLACAS DE ANCLAJE.

Hasta este momento se ha logrado diseñar, dimensionar y calcular la estructura de la nave industrial al completo. Se ha comprobado que resiste a las acciones exteriores a las que puede estar expuesta, y que todas las barras se comportan según los requerimientos.

No obstante, aun no se ha considerado uno de los aspectos fundamentales a tener en cuenta durante la construcción y el diseño de este tipo de estructuras: su asentamiento en la superficie.

Antes de dar por finalizado el dimensionado del proyecto debe calcularse la unión de la estructura con el suelo, de modo que se deberá crear una cimentación adecuada y unas placas de anclaje de los pilares con dicha cimentación.

Así pues, en este apartado se procederá a explicar cómo se han creado las placas de anclaje de la estructura al suelo, para posteriormente dimensionar adecuadamente la cimentación necesaria.

De este modo, una vez se han dimensionado y encajado los perfiles de la nave procedemos a la introducción de las placas de anclaje para su posterior dimensionamiento. Seleccionando del menú “Placas de anclaje” la opción “Generar” obtenemos las placas para el proyecto, y tras esto utilizamos la opción “dimensionar” del mismo menú para su dimensionamiento.

No obstante, antes de proceder a la generación y el dimensionamiento de las placas de anclaje deben definirse una serie de parámetros base de los cuales partirá el “Nuevo Metal 3D” para sus cálculos.

Así pues se definirán como materiales los siguientes (figura 82):

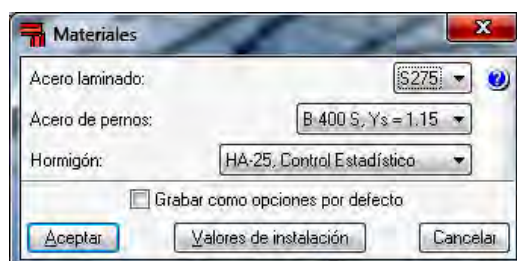


Figura 82. Ventana selección materiales.

Se fijan los siguientes parámetros base de los cuales se partirá para el dimensionado de las placas de anclaje (figura 83):

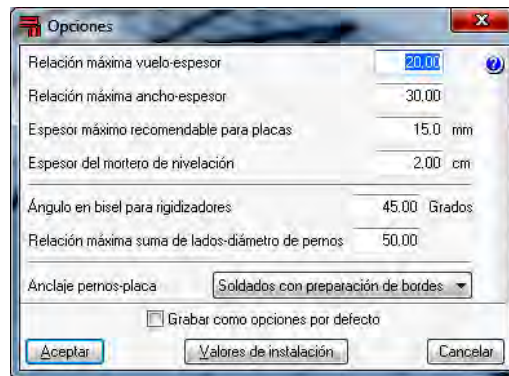


Figura 83. Selección opciones de placas de anclaje.

Tras haber definido todos los parámetros anteriores, se procederá a generar y dimensionar las placas de anclaje de la estructura.

Una vez dimensionadas las placas de anclaje se pueden consultar y modificar los resultados con la opción “Editar”. En este punto podremos evaluar y modificar todos los aspectos que consideremos oportunos para la correcta dimensionalización de las placas (figura 84).

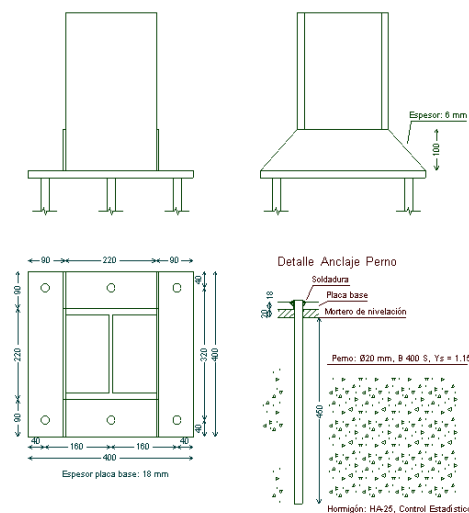


Figura 84. Esquema de placa de anclaje tipo.

Además de estos resultados, el “Nuevo Metal 3D” permite visualizar un listado con todas las comprobaciones que cumple la placa de anclaje seleccionada para poder considerarse adecuada para los esfuerzos transmitidos de la estructura a la cimentación. Algunos de estos resultados podrán comprobarse en el Anejo B donde se muestran los resultados proporcionados por el software CYPE.

Resulta interesante utilizar la opción “Igualar” para agrupar todas las placas de anclaje que queremos que sean iguales (para que resulte más fácil la ejecución) al igual que se hizo con las barras de la estructura de la nave. Se igualarán las placas de los pórticos según el criterio que utiliza por defecto el programa.

4.5.- CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA.

En este apartado se creará la cimentación de la estructura metálica que forma la nave industrial. Usualmente, este tipo de construcciones suele dotarse de una cimentación de hormigón armado en zapatas cuadradas centradas. De este modo, como la nave es una estructura porticada con grandes luces, este tipo de cimentación será la escogida.

Resulta evidente mencionar que las posiciones donde irá colocada cada una de las zapatas corresponderán con las posiciones donde asientan los pilares metálicos de la estructura.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta para realizar correctamente y por completo la cimentación es la de la definición de las vigas de atado entre zapatas. Estas vigas de atado otorgan estabilidad al conjunto debido a que este soporta esfuerzos en todas las direcciones, por lo que sirven de arriostramiento entre zapatas para evitar movimientos de las mismas entre sí.

De este modo, se procederá al cálculo y dimensionado de la cimentación adecuada para soportar la presente estructura.

4.5.1.- Introducción de las zapatas.

Así pues, una vez dimensionadas las placas de anclaje y toda la estructura metálica de la nave, se pasa a la carpeta “Cimentación” del módulo “Nuevo Metal 3D” para la correcta dimensionalización de la cimentación de la construcción.

Una vez se esté en esta pestaña se dibujarán en una proyección en planta todos los perfiles de las barras cuyos nudos han sido definidos como vinculación exterior. Las placas de anclaje, al haber sido definidas previamente, se dibujarán también en esta vista (figura 85):

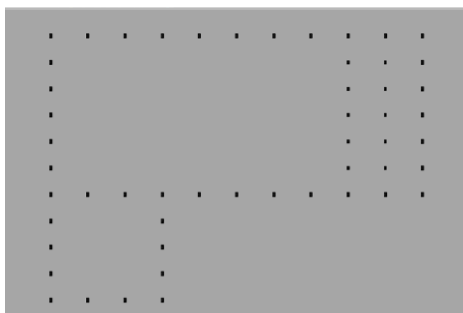


Figura 85. Posiciones de cimentaciones.

Para introducir las zapatas y las correas de atado entre ellas se utilizará la opción “Nuevo” del menú desplegable “Elementos de cimentación”. El siguiente paso será el de seleccionar el tipo de zapata que se quiere construir mediante la opción de “Zapata de hormigón armado” y seleccionando después la “Zapata rectangular excéntrica” (figura 86).



Figura 86. Selección del tipo de zapatas.

Tras esto, vamos seleccionando todos aquellos arranques de la obra para introducir todas las zapatas. Dependiendo de la zona del pilar donde nos posicionemos, el cursor se convertirá en una zapata de esquina o centrada. En nuestro caso, como ya hemos comentado, consideraremos que todas las zapatas son centradas pues es la opción más adecuada teniendo en cuenta las características de nuestra obra.

4.5.2.- Introducción de las vigas de atado.

Tras haberle indicado al “Nuevo Metal 3D” la posición y el tipo de zaparas que se quieren tener en la construcción debemos introducir las vigas de atado que arriostren estas zapatas para evitar así desplazamientos muy perjudiciales para la estabilidad de la estructura.

Para poder introducir estas vigas se utilizará la opción “Viga automática”. Seleccionando de un arranque de la zapata a otro se irán introduciendo las vigas:

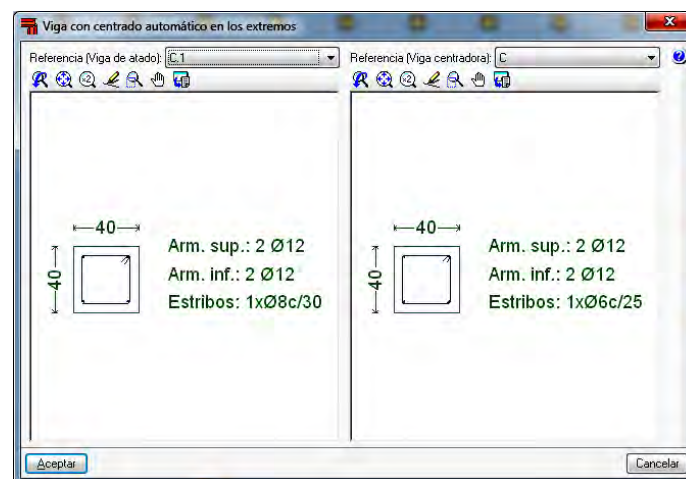


Figura 87. Vigas de atado.

De este modo, se tiene ya definida la red de cimentación para la nave industrial (figura 88):

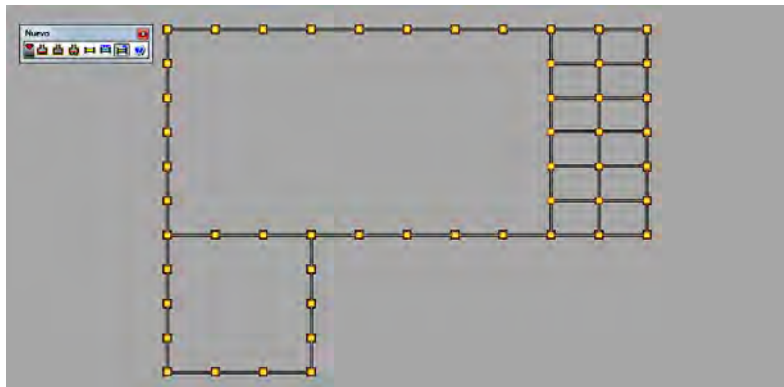


Figura 88. Disposición de las vigas de atado.

Se ha seleccionado esta configuración ya que garantiza el arriostramiento y la estabilidad de todas las zapatas de cimentación, por lo que se asegura un apoyo fiable y seguro para la nave sin tener que preocuparse de posibles fallos estructurales por desprendimientos inoportunos.

4.5.3.- Definición de datos para el dimensionado.

Una vez se ha definido la geometría de la cimentación de la nave, debemos ahora introducir todos aquellos parámetros necesarios para que el software pueda calcular y optimizar la cimentación más adecuada para la estructura.

De este modo, se deben introducir la tensión admisible del terreno y los tipos de hormigón y de acero de la cimentación, utilizando la opción “Datos generales” del menú desplegable “Obra” (figura 89).

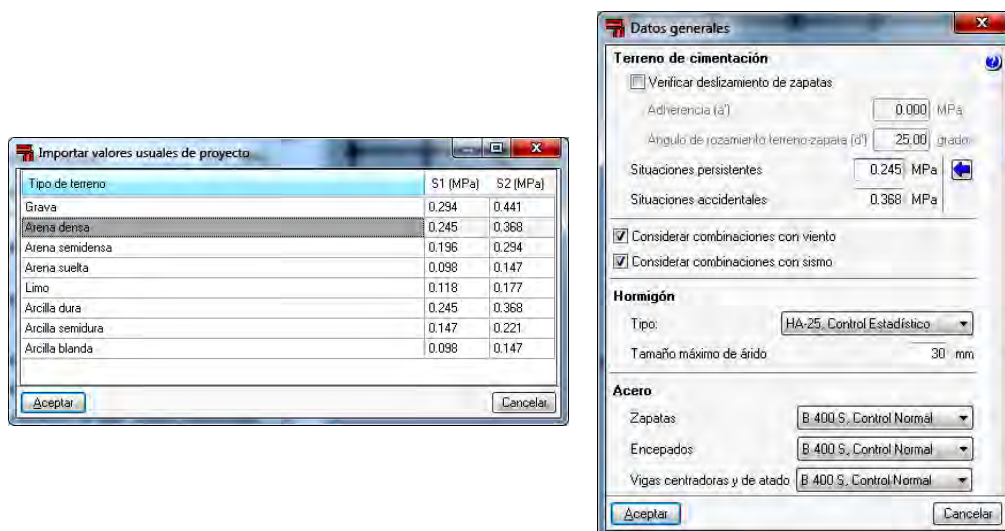


Figura 89. Datos de dimensionado de la cimentación.

Así pues, atendiendo a la información proporcionada por el “Instituto Geológico y Minero de España” (IGME), se ha seleccionado que la cimentación será sobre arena densa ya que es la que se encuentra en la localización seleccionada para la edificación de la nave industrial.

Antes de calcular debemos definir la sobrecarga de compactación debido al cerramiento que apoya en ellas. Para esto se hará uso del apartado “Opciones de vigas de atado” del menú desplegable “Obra”.

En este caso, el peso de la placa de hormigón es de $2,7 \text{ kN/m}^2$, por lo que debe introducirse una sobrecarga de compactación mayorada de:

$$q_{sc} = 2,7 * 8 * 1,6 = 34,6 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Ecuación 10}$$

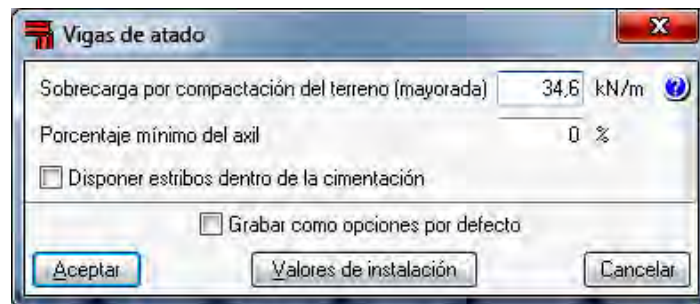


Figura 90. Datos de vigas de atado.

Por último, debe considerarse que cuando se dimensiona una cimentación de una nave industrial el principal problema no son las tensiones transmitidas al terreno, sino el peso de las zapatas en sí, ya que debido a la succión a la que se ven sometidas las naves industriales durante la acción del viento puede producirse el despegue de la zapata, por lo que da como resultado del dimensionamiento unas zapatas muy grandes.

Debido a esto, para este tipo de cimentaciones es preferible partir con unas dimensiones iniciales del canto grandes. Para ello, en la opción “Zapatas Aisladas” colocaremos 50cm para el canto mínimo (figura 91).

Es conveniente también para evitar este fenómeno, volver a la estructura e introducir la carga que transmite las vigas de atado de las zapatas a estas mismas. Se introducirá en el arranque de cada pilar de fachada una carga puntual en la hipótesis de carga permanente, con sentido contrario al eje Z y de valor igual al peso del cerramiento que soportan las vigas que atan las zapatas, tras lo cual volveremos a calcular la obra.

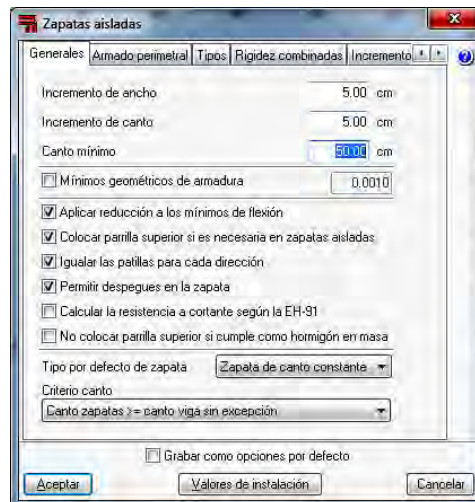


Figura 91. Datos de las zapatas aisladas.

4.5.4.- Dimensionamiento y comprobación de la cimentación.

A continuación se dimensionará la cimentación utilizando la opción “Dimensionar” del menú desplegable “Cálculo”. Tras el proceso de cálculo se marcarán en rojo aquellos elementos que tienen errores del dimensionamiento. Moviendo el cursor sobre una zapata o viga de la obra se mostrará un bocadillo informativo en el que se indican los datos de cálculo de la zapata o de la viga (figura 93).

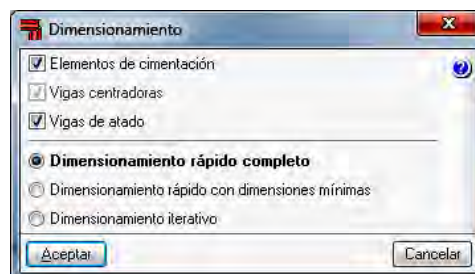


Figura 92. Selección del dimensionamiento de cimentación.

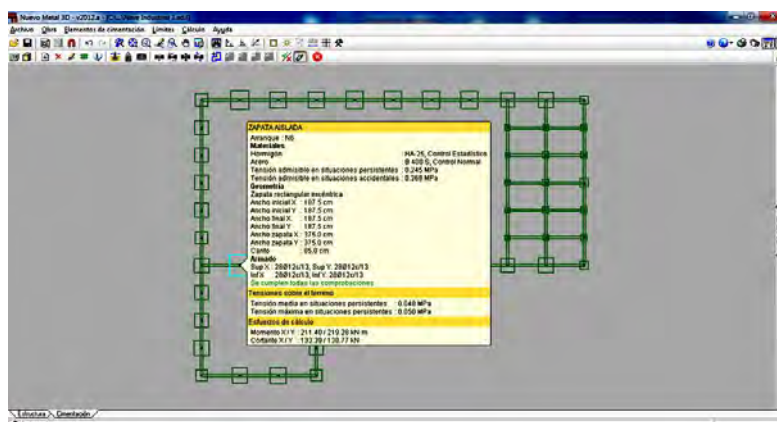


Figura 93. Cimentación dimensionada.

El programa permite la comprobación del dimensionamiento de cada elemento, incluyendo todas las comprobaciones que realiza. Esta información podrá consultarse en el Anejo A del presente documento ya que incluirla aquí no aportaría nada al seguimiento del proceso.

4.5.5.- Igualación.

Para las zapatas, al igual que se ha hecho con las placas de anclaje, debemos crear agrupaciones iguales la cimentación para obtener un resultado más homogéneo de las zapatas. Para realizar esta tarea se empleará la opción “Igualar” del menú desplegable “Elementos de cimentación”.

Se igualarán las zapatas de forma simétrica para simplificar la obra (figura 94):

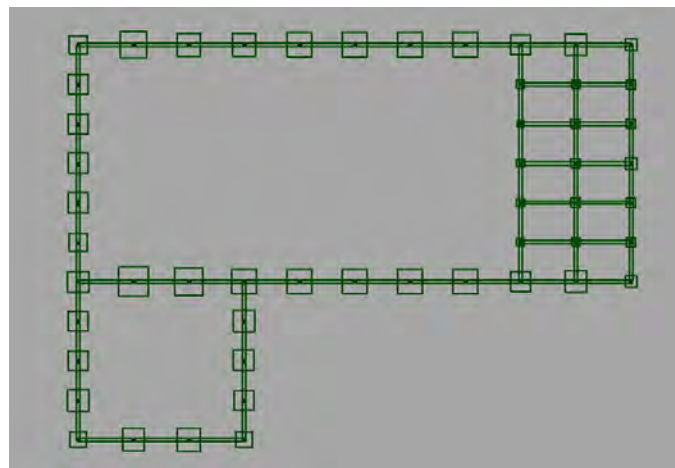


Figura 94. Igualación de zapatas.

Así pues, llegados a este punto se tiene ya diseñada, calculada y optimizada toda la nave industrial, incluyendo la estructura metálica, los anclajes y la cimentación. De este modo, podemos proceder ya a sacar conclusiones y mostrar resultados de este largo pero completo proceso que se ha seguido.



V. ESTRUCTURA DEFINITIVA

A continuación, una vez completado el proceso de diseño, cálculo y optimización de la estructura de la nave industrial, se procederá a resumir brevemente todo el proceso que se ha seguido hasta lograr cumplir los objetivos. Así pues, se mostrarán algunas imágenes de la nave final proporcionadas por el software CYPE INGENIEROS, sin olvidar por supuesto que el grueso de planos de la estructura se encuentra en el anejo correspondiente.

5.1.- RESUMEN DE LOS PASOS REALIZADOS.

Los principales pasos que se han dado para lograr los objetivos de diseñar, calcular y optimizar con éxito la nave industrial han sido:

- Definición de las dimensiones principales y características de la nave.

En este paso se determinaron las características geométricas básicas de las que se partía para desarrollar el proceso completo de diseño y cálculo de la nave industrial, considerándose en este caso la tipología de uso final de la misma y su localización geográfica.

- Definición del tipo de pórtico.

Atendiendo a las condiciones de carga y a las características geométricas exigidas, se seleccionaron el tipo de cercha para la nave industrial. En este caso se determinó que la cercha a utilizar será tipo inglesa. Se definieron además los elementos de cerramiento.

Utilizando el generador de pórticos definimos bajo qué condiciones externas trabajará la estructura, así como las acciones exteriores a considerar.

- Elección y dimensionado de las correas de cubierta.

En este momento se decidió qué tipo de perfil de correas de cubierta era el adecuado para soportar el cerramiento superior de la estructura, así como el número y la disposición de las mismas.

- Cálculo y predimensionado de una cercha tipo.

En este paso se calculó una cercha tipo para predimensionar los perfiles aproximados más adecuados considerando las condiciones de carga. De este modo, atendiendo a criterios de peso y económicos, y considerando sus coacciones externas e internas se determinaron unos perfiles iniciales para la cercha que cumplieran con todos los requerimientos.

- Generación de la estructura completa.

Se completó la geometría completa de la estructura añadiendo los elementos de arriostramiento necesarios así como las modificaciones oportunas en determinadas cerchas. Se definieron todos los nudos y uniones de la misma así como las

características de flecha y pandeo. Así mismo, se terminaron de definir todas las cargas actuantes sobre la estructura.

- Cálculo y dimensionado de la estructura completa.

Se realizó el cálculo completo de la cubierta metálica considerando sus condiciones de apoyo, arriostramientos longitudinales, sobrecargas de forjados, etc.

Tras obtener una dimensionalización inicial de perfiles de los grupos de barras previamente fijados, se optimizó la estructura modificando alguno de estos perfiles y recalculando de nuevo.

- Definición de los anclajes de la nave.

Se determinaron las características básicas de los anclajes de la estructura y se calcularon y dimensionaron los mismos.

- Cálculo y dimensionado de la cimentación de la estructura.

En este paso se calculó completamente la cimentación de la estructura, tanto de las zapatas escogidas como de sus correspondientes vigas de atado.

- Presupuesto de la obra.

5.2.- ESQUEMAS DE LA ESTRUCTURA COMPLETA.

A continuación se mostrarán una serie de esquemas y dibujos de algunos de los elementos más importantes que forman parte de la estructura de la nave industrial. Se mostrarán detallados con una breve explicación.

Uno de los elementos más importantes a la hora de definir correctamente la estructura son los perfiles de las correas de cubierta. A continuación puede verse en la figura 95 un detalle de cómo van distribuidos estos elementos sobre los cordones superiores de las cerchas.

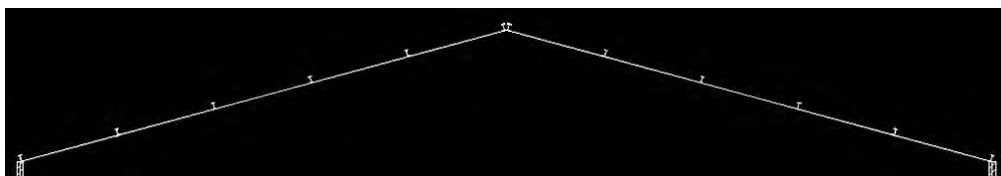


Figura 95. Distribución correas de cubierta.

El siguiente elemento completo que resulta interesante mostrar es el esquema de una de las cerchas tipo completa que podemos ver en la figura 96. Se ha escogido un diseño de cercha inglesa para nuestro modelo de nave industrial ya que resulta adecuada para este tipo de construcciones.

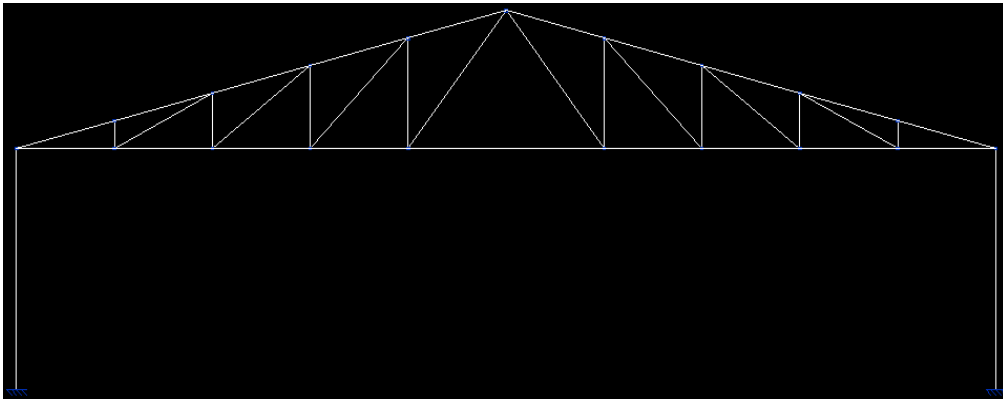


Figura 96. Cercha inglesa tipo.

Uno de los elementos “extra” que se ha querido añadir al diseño es la estructura para forjado de oficinas presente en los dos primeros vanos de la nave. A continuación puede verse en la figura 97 un esquema de las vigas que soportan el forjado.

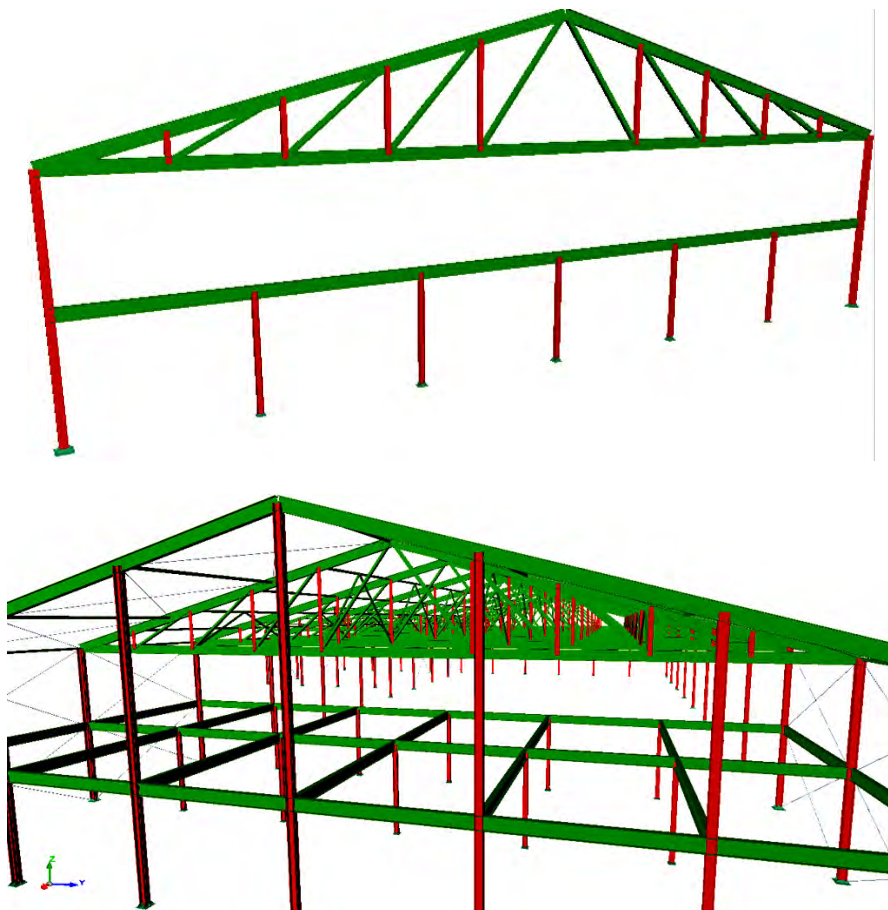


Figura 97. Vigas del forjado para oficinas.

Los arriostramientos longitudinales de la nave industrial resultan muy importantes para otorgar estabilidad y rigidez a la estructura antes los esfuerzos actuantes en esta dirección. A continuación puede verse en la figura 98 un detalle en 3D de estos elementos.

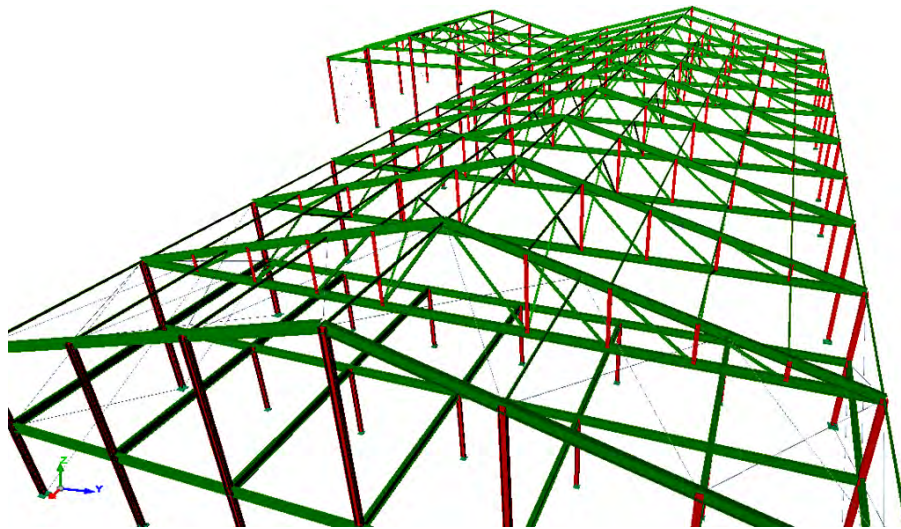


Figura 98. Vista de arriostramientos longitudinales.

Aparte de las vigas de arriostramiento longitudinal, para poder disminuir la flecha de los cordones inferiores de las cerchas y así aumentar su rigidez se han dispuesto arriostramientos longitudinales en K. En la figura 99 puede verse un ejemplo de estos elementos.

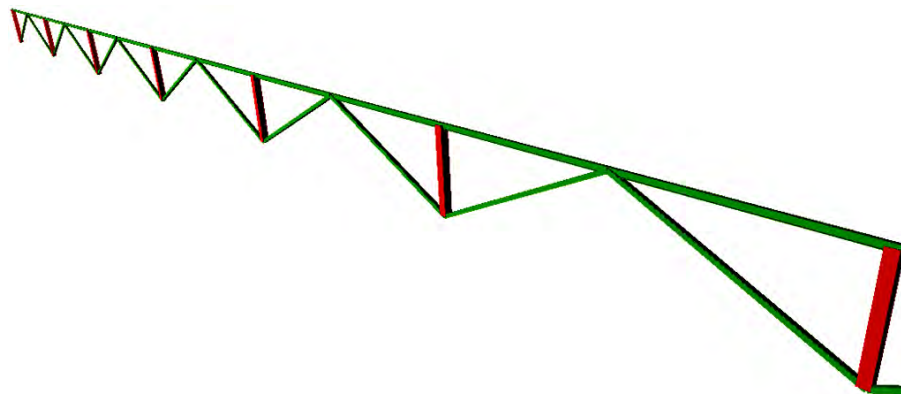


Figura 99. Vista de arriostramientos en K.

Para proporcionar rigidez extra a los extremos de la nave y así repartir las tensiones longitudinales que sobre ella actúan, se han colocado Cruces de San Andrés como las que pueden verse en la figura 100.

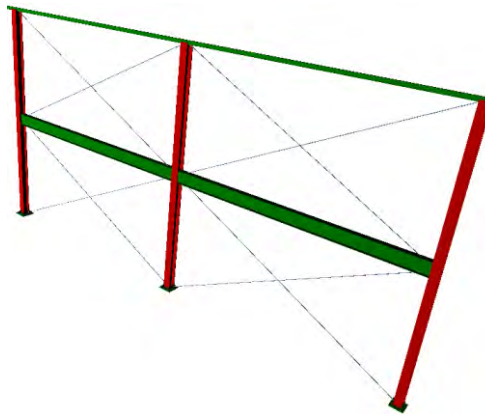


Figura 100. Vista de Cruz de San Andrés.

Los elementos que unen la estructura metálica con la cimentación de hormigón son las placas de anclaje. Un ejemplo de estas puede verse a continuación en la figura 101.

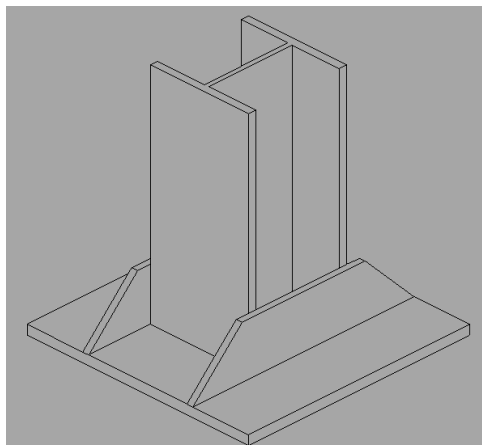


Figura 101. Vista 3D de una placa de anclaje.

A continuación puede verse en la figura 102 un esquema en 3D de la cimentación que sostiene la estructura metálica de la nave industrial.

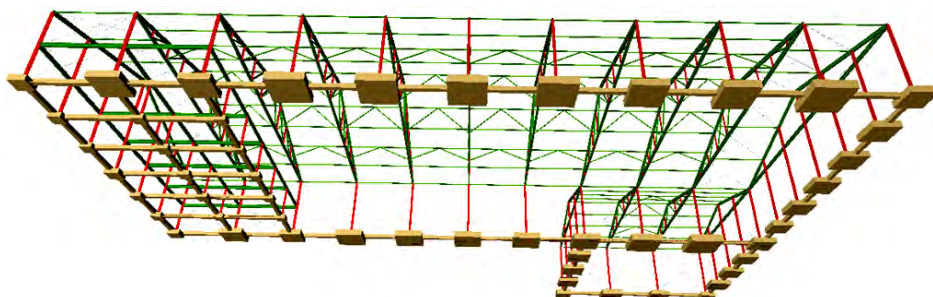


Figura 102. Vista 3D de la cimentación de la estructura.

Por último, a continuación pueden verse en las figuras 103 y 104 los esquemas completos de la estructura metálica y la cimentación de la nave industrial.

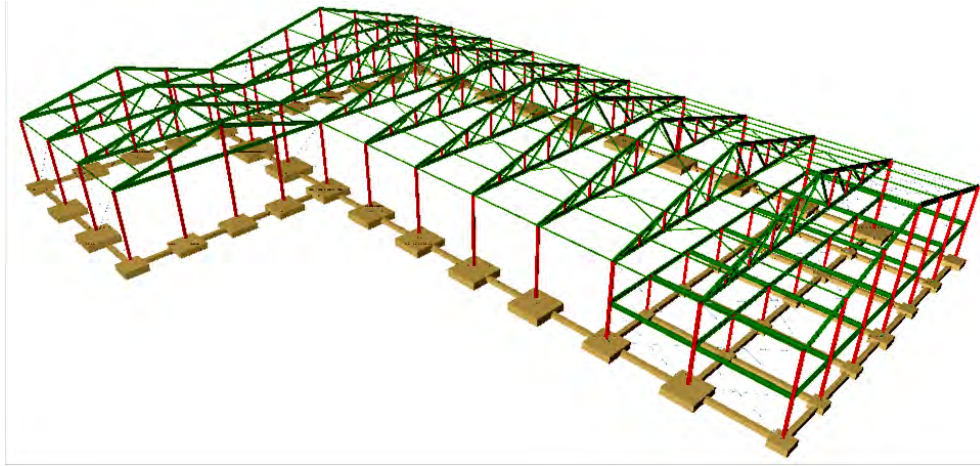


Figura 103. Esquema completo de la estructura 1.

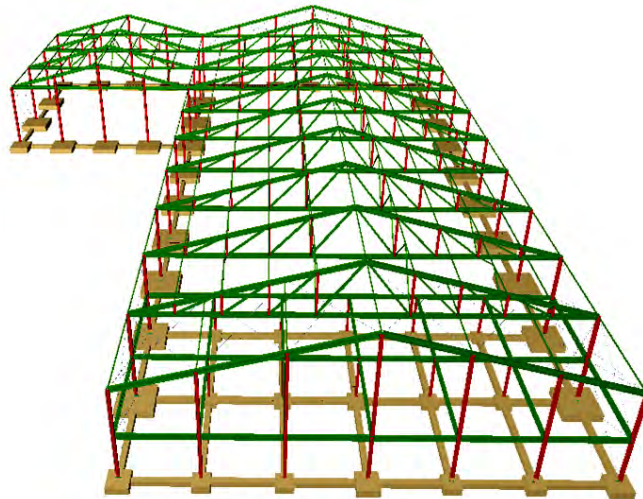


Figura 104. Esquema completo de la estructura 2.



VI. PRESUPUESTO



En este capítulo se realizará un rápido presupuesto para poder estimar los costes aproximados de la ejecución de la nave industrial diseñada durante todo el presente proyecto. Es necesario recordar que durante todos los pasos que se han dado se ha tenido en cuenta permanentemente el aspecto económico a la hora de tomar las decisiones oportunas para el diseño de la estructura.

De este modo, se ha elaborado un presupuesto utilizando el software informático “PRESTO”, el cual es una aplicación de gestión de costes para la construcción. Para llevar a cabo correctamente el presupuesto acorde con los precios actuales de la zona, se ha utilizado la base de precios de la Comunidad de Madrid.

A continuación se mostrará un presupuesto adjuntando dos documentos diferentes. En primer lugar se proporciona el coste detallado de la nave, considerando de forma extensa cada una de las partidas para los diferentes aspectos a ejecutar. El segundo documento muestra un resumen detallado del coste de la obra.

Debe comentarse que al final del presupuesto se considerarán unos beneficios industriales del 6% y una partida de gastos generales que supondrá el 13% de la ejecución material. Se han considerado estos porcentajes ya que son los más habituales en la industria de la construcción. Así mismo, se considera igualmente un impuesto de valor añadido (IVA) del 21%.



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
--------	---------	-----	----------	---------	--------	-----------	----------	--------	---------

CAPÍTULO 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS

01.01 m3 EXC.ZANJA A MÁQUINA T. COMPACTO

Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares.

VIGAS DE ATADO

Nave Auxiliar

N295-N266	1	4,60	0,40	0,40	0,74
N266-N235	1	4,15	0,40	0,40	0,66
N235-N211	1	4,50	0,40	0,40	0,72
N211-N210	1	2,70	0,40	0,40	0,43
N210-N193	1	2,43	0,40	0,40	0,39
N193-N192	1	2,35	0,40	0,40	0,38
N192-N16	1	2,08	0,40	0,40	0,33
N295-N303	1	2,63	0,40	0,40	0,42
N303-N301	1	2,38	0,40	0,40	0,38
N301-N298	1	2,48	0,40	0,40	0,40
N298-N1	1	2,43	0,40	0,40	0,39

Perimetro Nave Principal

N1-N6	1	3,80	0,40	0,40	0,61
N6-N11	1	3,35	0,40	0,40	0,54
N11-N16	1	3,65	0,40	0,40	0,58
N16-N21	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N21-N26	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N26-N31	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N31-N36	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N36-N41	1	4,15	0,40	0,40	0,66
N41-N46	1	4,38	0,40	0,40	0,70
N46-N51	1	4,93	0,40	0,40	0,79
N51-N58	1	3,70	0,40	0,40	0,59
N58-N57	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N57-N56	1	3,70	0,40	0,40	0,59
N56-N59	1	3,70	0,40	0,40	0,59
N59-N60	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N60-N53	1	3,70	0,40	0,40	0,59
N53-N48	1	4,93	0,40	0,40	0,79
N48-N43	1	4,38	0,40	0,40	0,70
N43-N38	1	4,15	0,40	0,40	0,66
N38-N33	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N33-N28	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N28-N23	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N23-N18	1	3,95	0,40	0,40	0,63
N18-N13	1	4,05	0,40	0,40	0,65
N13-N8	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N8-N3	1	4,20	0,40	0,40	0,67
N3-N288	1	2,65	0,40	0,40	0,42
N288-N286	1	2,50	0,40	0,40	0,40
N286-N281	1	2,45	0,40	0,40	0,39
N281-N282	1	2,45	0,40	0,40	0,39
N282-N284	1	2,60	0,40	0,40	0,42
N284-N1	1	2,55	0,40	0,40	0,41

Zona Oficinas

N41-N110	1	3,25	0,40	0,40	0,52
N46-N80	1	3,13	0,40	0,40	0,50
N110-N108	1	4,03	0,40	0,40	0,64
N80-N78	1	3,90	0,40	0,40	0,62
N108-N106	1	4,00	0,40	0,40	0,64
N78-N76	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N106-N104	1	4,05	0,40	0,40	0,65
N76-N74	1	3,85	0,40	0,40	0,62
N104-N102	1	4,08	0,40	0,40	0,65
N74-N72	1	3,90	0,40	0,40	0,62



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	N102-N43	1	3,25	0,40	0,40	0,52			
	N72-N48	1	3,13	0,40	0,40	0,50			
	N102-N72	1	6,00	0,40	0,40	0,96			
	N72-N60	1	5,90	0,40	0,40	0,94			
	N104-N74	1	5,98	0,40	0,40	0,96			
	N74-N59	1	5,85	0,40	0,40	0,94			
	N106-N76	1	5,93	0,40	0,40	0,95			
	N76-N56	1	5,70	0,40	0,40	0,91			
	N108-N78	1	5,93	0,40	0,40	0,95			
	N78-N57	1	5,85	0,40	0,40	0,94			
	N110-N80	1	6,00	0,40	0,40	0,96			
	N80-N58	1	5,90	0,40	0,40	0,94			
							40,76	10,19	415,34

01.02

m3

EXC.POZOS A MÁQUINA T.COMPACT.

Excavación en pozos en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero, y con p.p. de medios auxiliares.

ZAPATAS

Nave Auxiliar

N298	1	2,50	2,50	0,55	3,44
N301	1	2,55	2,55	0,55	3,58
N303	1	2,70	2,70	0,60	4,37
N295	1	2,05	2,05	0,60	2,52
N266	1	2,75	2,75	0,60	4,54
N235	1	2,95	2,95	0,70	6,09
N211	1	2,05	2,05	0,65	2,73
N210	1	2,55	2,55	0,55	3,58
N193	1	2,60	2,60	0,55	3,72
N192	1	2,70	2,70	0,60	4,37

Perimetro Nave Principal

N1	1	2,65	2,65	0,60	4,21
N6	1	3,75	3,75	0,85	11,95
N11	1	3,55	3,55	0,80	10,08
N16	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N21	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N26	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N31	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N36	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N41	1	2,55	2,55	0,60	3,90
N46	1	2,70	2,70	0,60	4,37
N51	1	1,45	1,45	0,55	1,16
N58	1	1,15	1,15	0,55	0,73
N57	1	1,15	1,15	0,50	0,66
N56	1	1,45	1,45	0,55	1,16
N59	1	1,15	1,15	0,50	0,66
N60	1	1,15	1,15	0,55	0,73
N53	1	1,45	1,45	0,55	1,16
N48	1	2,70	2,70	0,60	4,37
N43	1	2,55	2,55	0,60	3,90
N38	1	3,15	3,15	0,60	5,95
N33	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N28	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N23	1	3,15	3,15	0,70	6,95
N18	1	2,95	2,95	0,65	5,66
N13	1	2,95	2,95	0,70	6,09
N8	1	3,55	3,55	0,75	9,45
N3	1	2,25	2,25	0,60	3,04
N288	1	2,45	2,45	0,60	3,60
N286	1	2,55	2,55	0,55	3,58
N281	1	2,55	2,55	0,55	3,58
N282	1	2,55	2,55	0,55	3,58
N284	1	2,25	2,25	0,60	3,04



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
Zona Oficinas									
N110		1	0,95	0,95	0,50	0,45			
N80		1	1,05	1,05	0,50	0,55			
N108		1	1,00	1,00	0,50	0,50			
N78		1	1,15	1,15	0,50	0,66			
N106		1	1,00	1,00	0,50	0,50			
N76		1	1,15	1,15	0,50	0,66			
N104		1	0,90	0,90	0,50	0,41			
N74		1	1,15	1,15	0,50	0,66			
N102		1	0,95	0,95	0,50	0,45			
N72		1	1,05	1,05	0,50	0,55			
							196,54	5,49	1.079,00
01.03	m3	CARGA TIERRAS C/PALA CARGAD.							
Carga de tierras procedentes de excavaciones, sobre camión basculante, con pala cargadora, y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir el transporte.									
Total Mvto. Tierras Excv. Zanias		1	1,00	40,76		40,76			
Total Mvto. Tierras Excv. Pozos		1	1,00	196,54		196,54			
							237,30	3,02	716,65
01.04	m3	GESTIÓN Y TRANSPORTE TIERRA VERT. >25km.							
Transporte de tierras al vertedero, a una distancia mayor de 25 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero y con p.p. de medios auxiliares, incluida la carga en camión.									
Total Mvto. Tierras Excv. Zanja		1	40,76			40,76			
Total Mvto. Tierras Excv. Pozos		1	196,54			196,54			
							237,30	17,25	4.093,43
TOTAL CAPÍTULO 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS									6.304,42



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02 CIMENTACIÓN									
02.01	m2 ENCACHADO PIEDRA 40/80 e=15cm Encachado de piedra caliza 40/80 de 15 cm. de espesor en sub-base de solera, i/extendido y compactado con pisón.								
	Supf. Nave Ppal.	1	70,00	30,00		2.100,00			
	Supf. Nave Almacén	1	21,00	20,00		420,00			
	A deducir Superficie de:								
	Vigas de Atado	-1	61,10			-61,10			
	Zapatas	-1	151,95			-151,95			
							2.306,95	5,28	12.180,70
02.02	m2 SOLERA HA-25, 15cm ARMA 20x20x8 Solera de hormigón de 15 cm. de espesor, realizada con hormigón HA-25 N/mm2, T máx.20 mm., elaborado en obra, i/vertido, colocación y armado con mallazo 20x20x8, p.p. de juntas, aserrado de las mismas y fratasado, i/encachado de piedra caliza 40/80 de 15 cm. de espesor, extendido y compactado con pisón. Según NTE-RSS y EHE, incluido ensayo para control estadístico s/EHE en la recepción de hormigón.								
	Supf. Nave Ppal.	1	70,00	30,00		2.100,00			
	Supf. Nave Almacén	1	21,00	20,00		420,00			
							2.520,00	22,50	56.700,00
02.03	m2 IMPERM. SOLERA L.ASF.+GEOTEXT. Impermeabilización de solera constituida por: lámina asfáltica de oxiasfalto, Plasfal FP 4 kg, (tipo LO-40-FP), en posición flotante respecto al soporte salvo en perímetros y puntos singulares; capa protectora geotextil de 135 g/m2 Terram 1000. Lista para verter capa de hormigón.								
	Supf. Nave Ppal.	1	1,00	70,00	30,00	2.100,00			
	Supf. Nave Almacén	1	1,00	21,00	20,00	420,00			
							2.520,00	8,50	21.420,00
02.04	m3 HORM.LIMPIEZA HM-20/P/20/ V.MAN Hormigón en masa HM-20 N/mm2, consistencia plástica, T máx.20 mm., para ambiente normal, elaborado en central para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido por medios manuales y colocación. Según NTE-CSZ,EHE y CTE-SE-C.								
	Total Volumen para Vigas de Atado	1	101,84		0,10	10,18			
	Total Volumen para Zapatas	1	303,87		0,10	30,39			
							40,57	49,98	2.027,69
02.05	m3 H.ARM. HA-25/P/20/ V.MANUAL Hormigón armado HA-25 N/mm2, consistencia plástica, T máx.20 mm., para ambiente normal, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m3.), vertido por medios manuales, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE y CTE-SE-C. incluido ensayo para control estadístico s/EHE en la recepción de hormigón.								
	Total Volumen para Vigas de Atado	1	30,55			30,55			
	Total Volumen para Zapatas	1	166,12			166,12			
							196,67	251,31	49.425,14
TOTAL CAPÍTULO 02 CIMENTACIÓN.....									141.753,53



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 ESTRUCTURA									
03.01	kg ACERO S275 EN ESTRUCTURA SOLDADA								
Acero laminado S275, en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; íp.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, montado y colocado, según NTE-EAS/EAV y CTE-DB-SE-A.									
HEB									
160		1	35,00		42,60	1.491,00			
200		1	248,11		61,30	15.209,14			
220		1	80,72		71,50	5.771,48			
IPE									
100		1	882,00		8,10	7.144,20			
360		1	870,35		57,10	49.696,99			
400		1	122,12		66,31	8.097,78			
PERFIL L									
150x150x10		1	499,57		23,00	11.490,11			
PERFIL DOBLE L CAJÓN SOLDADO									
70x70x6		1	299,14		12,76	3.817,03			
CABLE MACIZO									
DIAMETRO 16		1	433,16		1,58	684,39			
							103.402,12	1,96	202.668,16
TOTAL CAPÍTULO 03 ESTRUCTURA.....									202.668,16



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 04 CUBIERTA									
04.01	m2	CUB.PANEL CHAPA PRELACA*GALVA-80							
Cubierta formada por panel Miret de chapa de acero en perfil comercial, prelacada la cara exterior y galvanizada la cara interior de 0,5 mm. con núcleo de EPS, poliestireno expandido de 20 kg./m3. con un espesor de 80 mm., clasificado M-1 en su reacción al fuego, colocado sobre correas metálicas, i/p.p. de solapes, tapajuntas, accesorios de fijación, juntas de estanqueidad, medios auxiliares y elementos de seguridad, s/NTE-QTG-8. Medida en verdadera magnitud.									
	Nave Principal	1	70,00	31,06		2.174,20			
	Nave Almacén	1	21,00	20,71		434,91			
							2.609,11	29,68	77.438,38
TOTAL CAPÍTULO 04 CUBIERTA									77.438,38



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	
CAPÍTULO 05 CERRAMIENTOS										
05.01	m2	PANEL PREF.HORM.CERRAMIENTO HORIZ								
Panel de cerramiento prefabricado de hormigón machihembrado, de 12 cm. de espesor, acabado, en piezas de hasta 2,5m. de alto, hasta 14 m. de largo, formadas por dos planchas de hormigón de 4 cm. de espesor con rigidizadores interiores, con capa interior de poliestireno de 8 cm. de espesor, i/p.p. de piezas especiales para su anclaje a la estructura del edificio y sellado de juntas con cordón de masilla caucho-asfáltica. Colocado con ayuda de grúa automóvil para montaje y apeos necesarios. Eliminación de restos y limpieza final. P.p. de andamiajes y medios auxiliares. Según NTE-FPP. Medida la superficie realmente ejecutada.										
NAVE PRINCIPAL										
Fachada Norte	1	270,30					270,30			
A deducir:										
Puertas Vehiculos	-2		5,00	50,00			-500,00			
Fachada Sur	1	270,30					270,30			
A deducir:										
Puerta Peatonal	-1		4,50	2,50			-11,25			
Ventanas Tipo A	-10		2,00	1,00			-20,00			
Fachada Este	1	490,00					490,00			
A deducir:										
Puertas Peatonales	-3		1,50	2,10			-9,45			
Ventanas Tipo A	-8		2,00	1,00			-16,00			
Ventanas Tipo B	-7		3,00	2,00			-42,00			
Ventanas Tipo C	-2		1,00	1,00			-2,00			
Fachada Oeste	1	343,00					343,00			
A deducir:										
Puertas Peatonales	-2		1,50	2,10			-6,30			
Ventanas Tipo A	-8		2,00	1,00			-16,00			
Ventanas Tipo B	-4		3,00	2,00			-24,00			
Ventanas Tipo C	-2		1,00	1,00			-2,00			
NAVE ALMACÉN										
Fachada Norte	1	166,80					166,80			
A deducir:										
Puerta Vehiculos	-2		5,00	5,00			-50,00			
Ventanas Tipo A	-1		2,00	1,00			-2,00			
Fachada Sur	1	166,80					166,80			
A deducir:										
Puerta Vehiculos	-2		5,00	5,00			-50,00			
Ventanas Tipo A	-1		2,00	1,00			-2,00			
Fachada Oeste	1	147,00					147,00			
A deducir:										
Ventanas Tipo D	-3		4,00	2,00			-24,00			
							1.077,20	31,60	34.039,52	
TOTAL CAPÍTULO 05 CERRAMIENTOS.....										34.039,52



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 06 SOLADOS									
06.01	m2	PINTURA EPOXI S/HORMIGÓN							
Pintura plástica de resinas epoxi, dos capas sobre suelos de hormigón, lijado o limpieza, mano de imprimación especial epoxi, diluido, plastecido de golpes con masilla especial y lijado de parches.									
	Nave Principal	1	70.00	30.00		2.100.00			
	Nave Almacén	1	21.00	20.00		420.00			
							2.520,00	10,17	25.628,40
TOTAL CAPÍTULO 06 SOLADOS.....									25.628,40



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 07 CARPINTERIA METALICA									
07.01	ud PUERTA BASCUL.ARTICUL.1/3 4,01x3,93 AUT. Puerta basculante articulada de 5,00x5,00 m. construida con bastidor, cerco y refuerzos de tubo de acero laminado, hoja ciega de 1 hoja de chapa de acero galvanizada sendzimer y plegada de 0,8 mm, con ventanal según detalle., grupo de automatización oleodinámico, armario metálico estanco para componentes electrónicos de maniobra, accionamiento ultrasónico a distancia, pulsador interior, receptor, emisor monocanal, fotocélula de seguridad, incluso acabado de capa de pintura epoxi polimerizada al horno en blanco y demás accesorios, elaborada en taller, ajuste y montaje en obra. .								
	Total Puertas	6				6,00			
							6,00	16.398,10	98.388,60
07.02	ud VENT.AL.NA. OSCIOBAT.200x120cm. Ventana oscilobatiente de 2 hojas de aluminio anodizado en color natural de 15 micras, de 200x100 cm. de medidas totales, compuesta por cerco, hojas y herrajes de colgar y de seguridad, totalmente instalada sobre precerco de aluminio, sellado de juntas y limpieza, incluso con p.p. de medios auxiliares.								
	Total Fachadas	28				28,00			
							28,00	272,32	7.624,96
07.03	m2 VENT.AL.NA. FUO >4m2 Carpintería de aluminio anodizado en color natural de 15 micras, en ventanales fijos para escaparates o cerramientos en general mayores de 4 m2. de superficie, para acristalar, compuesta por cerco sin carriles para persiana o cierre, junquillos y accesorios, totalmente instalada sobre precerco de aluminio, incluso con p.p. de medios auxiliares.								
	Total Fachadas	11				11,00			
							11,00	546,23	6.008,53
07.04	ud VENT.AL.NA.PRACT.2 HOJ.120x120cm Ventana practicable de 2 hojas de aluminio anodizado en color natural de 15 micras, de 100x100 cm. de medidas totales, compuesta por cerco, hojas y herrajes de colgar y de seguridad, totalmente instalada sobre precerco de aluminio, sellado de juntas y limpieza, incluso con p.p. de medios auxiliares.								
	Total Fachadas	4				4,00			
							4,00	149,09	596,36
07.05	ud P.CORTAFUEGOS EI2-120 1,00x2,10 Puerta metálica cortafuegos de una hoja pivotante de 1,00x2,10 m., homologada EI2-120 C5, construida con dos chapas de acero electrozincado de 0,80 mm. de espesor y cámara intermedia de material aislante ignífugo, sobre cerco abierto de chapa de acero galvanizado de 1,20 mm. de espesor, con siete patillas para fijación a obra, cerradura embutida y cremón de cierre automático, elaborada en taller, ajuste y fijación en obra, incluso acabado en pintura epoxi polimerizada al horno.								
	Total Fachadas	5				5,00			
							5,00	459,72	2.298,60
07.06	ud VENTANALC/PUERTA.AL.NA.CORRED.3H.400x210cm Balcón corredera de 3 hojas para acristalar, de aluminio anodizado en color natural de 15 micras, de 400x210 cm. de medidas totales, compuesta por cerco, hojas con zócalo inferior ciego de 30 cm., y herrajes de deslizamiento y de seguridad, totalmente instalada sobre precerco de aluminio, sellado de juntas y limpieza, incluso con p.p. de medios auxiliares.								
		1				1,00			
							1,00	1.090,91	1.090,91
TOTAL CAPÍTULO 07 CARPINTERIA METALICA.....									116.007,96



PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Nave Industrial en Getafe

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 08 PROTECCION CONTRA INCENDIOS									
08.01	PROY. MORTERO IGNF. RF30								
	Formación de protección pasiva contra incendios de viga de acero de diferentes perfiles, protegida en sus 4 caras y con una estabilidad al fuego de 30 minutos, mediante recubrimiento con mortero de lana de roca proyectado, con un espesor medio de 10 mm, aplicado directamente sobre el soporte. Incluso p/p de maquinaria de proyección, protección de paramentos, carpinterías y otros elementos colindantes, y limpieza.								
	Total Estructura a Revestir	1	1.388,00			1.388,00			
							1.388,00	10,39	14.421,32
	TOTAL CAPÍTULO 08 PROTECCION CONTRA INCENDIOS.....								14.421,32
	TOTAL								618.261,69



RESUMEN DE PRESUPUESTO

Nave Industrial en Getafe

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
1	CERRAMIENTOS.....	34.039,52	5,51
2	CIMENTACIÓN.....	141.753,53	22,93
3	ESTRUCTURA.....	202.668,16	32,78
4	CUBIERTA.....	77.438,38	12,53
5	CERRAMIENTOS.....	34.039,52	5,51
6	SOLADOS.....	25.628,40	4,15
7	CARPINTERIA METALICA.....	116.007,96	18,76
8	PROTECCION CONTRA INCENDIOS.....	14.421,32	2,33
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		645.996,79	
	13,00 % Gastos generales.....	83.979,58	
	6,00 % Beneficio industrial.....	38.759,81	
SUMA DE G.G. y B.I.		122.739,39	
	21,00 % I.V.A.....	161.434,60	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		930.170,78	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		930.170,78	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de **NOVECIENTOS TREINTA MIL CIENTO SETENTA EUROS** con **SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS**

En Getafe, a MARZO DE 2014.

El promotor

SERGIO DÍAZ LANCHO



VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1.- CONCLUSIONES.

En el presente proyecto se ha diseñado, calculado y optimizado una nave industrial de estructura metálica con nave almacén anexa así como su cimentación de hormigón. Esto se ha podido realizarlo gracias a la utilización del código comercial “CYPE-CAD”, especialmente mediante sus módulos “Generador de Pórticos” y “Nuevo Metal 3D”. Para la realización de esta construcción se han seguido las indicaciones expuestas en el “Código Técnico de la Edificación” además de diferentes normas como la EHE (Norma de Instrucción Estructural).

Uno de los aspectos fundamentales que se ha seguido a la hora de completar los cálculos de la estructura ha sido la dimensionalización y cálculos analíticos previos que han permitido establecer unos perfiles iniciales para las cerchas de la nave. Así mismo se han realizado comprobaciones analíticas posteriores para validar los resultados proporcionados por el software CYPE.

La nave industrial está localizada en uno de los polígonos industriales del municipio de Getafe, en la Comunidad de Madrid. En ella se desarrollaran actividades de mecanizado de elementos mecánicos, por lo que ésta albergará maquinaria de grandes dimensiones.

La geometría principal de la estructura es de una nave principal a dos aguas con una nave anexa para uso de almacén y preparación/recepción de pedidos, también a dos aguas. Además se dispone de una estructura metálica interior para albergar una segunda planta en los dos primeros vanos de la nave principal. En total se ocupará una superficie de 2520 m², teniendo una superficie útil de 2940 m².

La estructura se ha realizado utilizando pórticos con cerchas triangulares tipo inglesa a dos aguas, arriostradas longitudinalmente. Esta estructura por tanto está soportada mediante pilares metálicos. Estos pilares se asientan sobre zapatas de cimentación cuadradas y unidas mediante vigas de arriostramiento de acuerdo a los requisitos estructurales establecidos por el EHE.

Así pues, en la parte posterior de la nave principal, a uno de los lados, se dispone de una nave auxiliar de misma geometría pero dimensiones reducidas.

Finalmente, tras calcular los costes aproximados de ejecución, se alcanza un coste de 930.170,78 €, lo cual supone un coste por metro cuadrado ocupado de 316€/m².

De este modo, se ha alcanzado el objetivo final mediante la consecución de una serie de hitos intermedios, como son los siguientes:

- Todos los diseños, soluciones constructivas, datos, consideraciones y precios se han obtenido de información y documentación de empresas del sector. Esto ha requerido un trabajo de búsqueda importante así como de petición de información a diferentes personas, organismos, etc.



- Se ha conseguido aprender a manejar, de forma completamente autodidacta, el código comercial “CYPE-CAD”. Esto ha podido realizarse mediante manuales y un gran tiempo de práctica con el programa.
- Se ha logrado adquirir una serie de conocimientos sobre estructuras de forma autodidacta consultando manuales y pidiendo consejo a profesionales.
- Se ha podido aprender a manejar otro tipo de programas relacionados con el sector, tales como “PRESTO”, un software de generación de presupuestos en el ámbito de la construcción, y “AUTOCAD”, un programa de generación de planos muy extendido en la industria.

De este modo, puede considerarse que todo el proceso de realización del presente documento ha ayudado a que se comprendan mejor todos los pasos y dificultades con las que hay que encontrarse a la hora de llevar a cabo un proyecto de diseño de una estructura.

7.2.- TRABAJOS FUTUROS.

La realización de este proyecto puede ser un impulso inicial para realizar posteriormente otra serie de trabajos y cálculos relacionados con el mismo sector y que permitiría definir completamente las características de la nave industrial para que ésta quede 100% operativa.

Entre estos trabajos que se han mencionado, pueden destacarse para ir más allá del diseño de la estructura, los siguientes:

- Análisis del comportamiento dinámico de la estructura considerando la presencia de sismos.
- Calcular todas las uniones de la estructura, considerando no solo las propuestas por el CYPE si no todas aquellas que no pueden dimensionarse mediante el software. Se considerarán uniones atornilladas y soldadas.
- Realizar un proyecto de acondicionamiento de la construcción a las nuevas normativas vigentes relacionadas con aspectos de eficiencia energética. De este modo se podría optimizar el edificio mediante un análisis energético y lograr así una certificación energética.
- Plantear un proyecto de instalación de placas solares sobre la cubierta de la nave para autoabastecerse en la medida de lo posible de energía tanto eléctrica como térmica. En este trabajo se incluiría no solo el diseño de los paneles y captadores, sino de todos sus soportes y toda la instalación que requiere.



- Uno de los trabajos básicos para adecuar la nave para su uso es el del diseño de la instalación eléctrica, neumática, hidráulica o de seguridad contra incendios.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Durante la realización del presente proyecto se han consultado principalmente los siguientes documentos:

- *Código Técnico de la Edificación*. Actualizado a marzo de 2014. Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008).
- *Apuntes de la asignatura Mecánica de Estructuras*. Grado en Ingeniería Mecánica, 2º curso, 2º cuatrimestre. Universidad Carlos III de Madrid.
- *Apuntes de la asignatura Resistencia de Materiales*. Grado en Ingeniería Mecánica, 3º curso, 2º cuatrimestre. Universidad Carlos III de Madrid.
- *Apuntes de la asignatura Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales*. Grado en Ingeniería Mecánica, 4º curso, 1º cuatrimestre. Universidad Carlos III de Madrid.
- *Manual CYPE 2008, Cálculo de Estructuras Metálicas con Nuevo Metal 3D*. Antonio Manuel Reyes Rodríguez. Ed.: Anaya Multimedia. 2008.
- *Manual de usuario Generador de Pórticos*. Cype Ingenieros. 2004.
- *Análisis de Estructuras Metálicas*. José Antonio Flores Yepes. Ed.: A. Madrid Vicente. 2011.
- *Cimentaciones: Diseño y Construcción*. M. J. Tomlinson. Ed.: Trillas. 1996.
- *Base de precios de la construcción de la Comunidad de Madrid*. D. Juan Oñate García. 2007.
- *Manual de PRESTO 8.8*. Francisco Méndez Fernández. Universidad de Extremadura. 2009.

Además, se han utilizado también como apoyo la información contenida en las siguientes páginas web:

- www.cype.es. Página web oficial del código comercial CYPE INGENIEROS.
- www.codigotecnico.org. Página web oficial sobre el Código Técnico de la Edificación.
- Biblioteca.ec3m.es. Página oficial de la Biblioteca de la Universidad Carlos III de Madrid.
- <http://www.celsa.com/>. Página web de la empresa CELSA Group dedicada a los elementos metálicos para la construcción.



- <http://www.constructalia.com/>. Página web de la empresa ArcelorMittal dedicada a la fabricación de elementos metálicos.
- <http://www.autodesk.es/>. Página web oficial de la empresa creadora del software AUTOCAD.
- <http://www.soft.es/>. Página web oficial de la empresa creadora del software para cálculo de costes en la construcción PRESTO.



IX. ANEJOS

ANEJO A. RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA.

En este anejo se presentan algunos de los listados de resultados que ofrece el “Generador de Pórticos” y el “Nuevo Metal 3D”. Estos programas pueden generar miles de páginas a modo de resultados, mediciones, etc. En este caso se mostrarán únicamente algunos de estos resultados ya que carece de sentido y utilidad adjuntar toda la información al completo.



Nave industrial Nº1

Listados

Fecha: 01/02/14

1.- DATOS DE OBRA

1.1.- Normas consideradas

Cimentación: EHE-98-CTE

Hormigón: EHE-98-CTE

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

Categoría de uso: B. Zonas administrativas

1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón	CTE
E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones	Control de la ejecución: Normal
	Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
E.L.U. de rotura. Acero laminado	CTE
	Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Tensiones sobre el terreno	Acciones características
Desplazamientos	

1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} G_{ki} + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} G_{ki} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

G_k Acción permanente

Q_k Acción variable

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_{Q1} Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

γ_{Qi} Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Ψ_{p1} Coeficiente de combinación de la acción variable principal

Ψ_{ai} Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-98-CTE

	Persistente o transitoria			
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_n)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.500	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.600	1.000	0.500



E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-98-CTE

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_n)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.600	1.000	0.500

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_n)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Accidental de incendio				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_n)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	0.500	0.300
Viento (Q)	0.000	1.000	0.500	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	0.200	0.000

Tensiones sobre el terreno

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000

Desplazamientos

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000



1.2.2.- Combinaciones

■ Nombres de las hipótesis

G	Carga permanente
Q 1	Sobrecarga de la Oficina.
V H1	Cubiertas aisladas
V H2	Cubiertas aisladas
V H3	Cubiertas aisladas
V H4	Cubiertas aisladas
V H5	Cubiertas aisladas
V H6	Cubiertas aisladas
V(0°) H1	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 con succión interior
V(0°) H2	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 con succión interior
V(90°) H1	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 con succión interior
V(180°) H1	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 con succión interior
V(180°) H2	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 con succión interior
V(270°) H1	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 con succión interior
N(EI)	Nieve (estado inicial)
N(R) 1	Nieve (redistribución) 1
N(R) 2	Nieve (redistribución) 2

■ E.L.U. de rotura. Acero laminado

1. Coeficientes para situaciones persistentes o transitorias

Comb.	G	Q 1	V H1	V H2	V H3	V H4	V H5	V H6	V(0°) H1	V(0°) H2	V(90°) H1	V(180°) H1	V(180°) H2	V(270°) H1	N(EI)	N(R) 1	N(R) 2
1	0.800																
2	1.350																
3	0.800	1.500															
4	1.350	1.500															
5	0.800		1.500														
6	1.350		1.500														
7	0.800	1.050	1.500														
8	1.350	1.050	1.500														
9	0.800	1.500	0.900														
10	1.350	1.500	0.900														
11	0.800			1.500													
12	1.350			1.500													
13	0.800	1.050	1.500														

1.3.- Resistencia al fuego

Perfiles de acero

Norma: CTE DB SI. Anejo D: Resistencia al fuego de los elementos de acero.

Resistencia requerida: R 30

Revestimiento de protección: Proyectado de fibras minerales

Densidad: 300.0 kg/m³

Conductividad: 0.12 W/(m·K)

Calor específico: 1200.00 J/(kg·K)

El espesor mínimo necesario de revestimiento para cada barra se indica en la tabla de comprobación de resistencia.

1.1.2.- Barras

1.1.2.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E	v	G	f _e	α _s	γ
Tipo	Designación	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m ³)
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: E: Módulo de elasticidad ν: Módulo de Poisson G: Módulo de cortadura f _e : Límite elástico α _s : Coeficiente de dilatación γ: Peso específico							



Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A	Avv	Avz	Ivv	Izz	It
Tipo	Designación			(cm²)	(cm²)	(cm²)	(cm4)	(cm4)	(cm4)
Acero laminado	S275	1	HE 200 B , (HEB)	78.10	45.00	13.77	5696.00	2003.00	59.28
		2	IPE 360, (IPE)	72.70	32.38	24.09	16270.00	1043.00	37.32
		3	HE 220 B , (HEB)	91.00	52.80	16.07	8091.00	2843.00	76.57
		4	HE 160 B , (HEB)	54.30	31.20	9.65	2492.00	889.20	31.24
		5	IPE 330, (IPE)	62.60	27.60	20.72	11770.00	788.10	28.15
		6	L 150 x 150 x 15, (L)	43.00	20.25	20.25	898.10	898.10	32.06
		7	IPE 100, (IPE)	10.30	4.70	3.27	171.00	15.92	1.20
		8	Ø16, (Redondos)	2.01	1.81	1.81	0.32	0.32	0.64
		9	L 70 x 70 x 6, Doble en cajón soldado, (L) Cordón continuo	16.26	7.68	7.68	130.62	130.62	207.31
Notación: Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal Avv: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' Ivv: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' It: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.									

1.1.2.5.- Resumen de medición

Resumen de medición											
Material		Serie	Perfil	Longitud		Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (ka)	Serie (ka)
Acero laminado	S275	HEB	HE 200 B	248.114			1.938			15211.50	
			HE 220 B	80.717			0.735			5766.04	
			HE 160 B	35.000			0.190			1491.89	
		IPE		363.831			2.862			22469.43	
			IPE 360	804.462			5.848			45910.22	
			IPE 330	188.000			1.177			9238.51	
		IPE	IPE 100	882.000			0.908			7131.41	
				1874.462			7.934			62280.14	
		L	L 150 x 150 x 15	499.568			2.148			16862.91	
			L 70 x 70 x 6, Doble en cajón soldado	299.140			0.486			3818.25	
Redondos		798.708			2.635			20681.16			
	Ø16	433.159			0.087			683.67			
		433.159			0.087			683.67			
					3470.160			13.518		106114.40	

1.1.2.6.- Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
HEB	HE 200 B	1.182	248.114	293.271
	HE 220 B	1.301	80.717	105.013
	HE 160 B	0.944	35.000	33.040
IPE	IPE 360	1.384	804.462	1113.375
	IPE 330	1.285	188.000	241.580
	IPE 100	0.412	882.000	363.208
L	L 150 x 150 x 15	0.600	499.568	299.741
	L 70 x 70 x 6, Doble en cajón soldado	0.304	299.140	90.938
Redondos	Ø16	0.050	433.159	21.773
			Total	2561.939

1.2.- Resultados

1.2.1.- Barras

1.2.1.1.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido con solo algunas barras)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _z M _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N1/N2	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m $\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 6.3$	x: 0 m $\eta = 20.5$	x: 0 m $\eta = 33.0$	$\eta = 3.7$	x: 0 m $\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 42.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.3$	CUMPLE $\eta = 42.1$
N3/N4	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 3.3$	x: 0 m $\eta = 20.2$	x: 0 m $\eta = 24.7$	x: 0 m $\eta = 6.0$	x: 0 m $\eta = 1.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 42.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 1.4$	x: 0 m $\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 42.1$
N2/N285	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m $\eta = 2.4$	x: 0.696 m $\eta = 9.8$	x: 5.07 m $\eta = 11.9$	x: 0.696 m $\eta = 24.8$	x: 0.696 m $\eta = 7.4$	x: 0.696 m $\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.696 m $\eta = 34.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.4$	x: 0.696 m $\eta = 1.6$	x: 0.696 m $\eta = 0.3$	CUMPLE $\eta = 34.0$
N285/N283	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m $\eta = 1.7$	x: 0.104 m $\eta = 6.1$	x: 5.07 m $\eta = 12.7$	x: 5.07 m $\eta = 6.6$	x: 5.07 m $\eta = 6.9$	x: 5.07 m $\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 5.07 m $\eta = 14.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.3$	x: 0.104 m $\eta = 1.5$	x: 5.07 m $\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 14.6$



Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M·V _z	M _z ·V _y	NM·M _z	NM·M _z ·V·V _z	M _t	M·V _z	M _z ·V _y	
N283/N5	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m η = 1.1	x: 0.104 m η = 3.4	x: 0.104 m η = 13.1	x: 5.07 m η = 15.9	x: 0.104 m η = 7.3	x: 0.104 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 5.07 m η = 22.4	η < 0.1	η = 0.4	x: 0.104 m η = 1.6	x: 0.104 m η = 0.1	CUMPLE η = 22.4
N4/N289	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m η = 1.6	x: 0.696 m η = 7.2	x: 5.07 m η = 14.9	x: 1.57 m η = 3.2	x: 5.07 m η = 7.8	x: 0.696 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 5.07 m η = 17.5	η < 0.1	η = 1.1	x: 5.07 m η = 1.3	x: 0.696 m η < 0.1	CUMPLE η = 17.5
N289/N287	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m η = 1.1	x: 0.104 m η = 4.7	x: 5.07 m η = 12.5	x: 5.07 m η = 5.1	x: 5.07 m η = 6.8	x: 5.07 m η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.104 m η = 14.3	η < 0.1	η = 1.3	x: 0.104 m η = 1.1	x: 0.104 m η < 0.1	CUMPLE η = 14.3
N287/N5	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 5.07 m η = 1.3	x: 0.104 m η = 2.3	x: 0.104 m η = 12.9	x: 5.07 m η = 15.9	x: 0.104 m η = 7.3	x: 0.104 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 4.08 m η = 20.0	η < 0.1	η = 0.4	x: 0.104 m η = 1.1	x: 0.104 m η = 0.1	CUMPLE η = 20.0
N6/N7	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m η = 14.0	x: 0 m η = 39.0	x: 0 m η = 28.2	x: 6.81 m η = 8.1	η = 5.0	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.81 m η = 58.8	η < 0.1	η = 0.7	η = 0.6	η = 0.1	CUMPLE η = 58.8
N8/N9	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m η = 7.9	x: 0 m η = 22.0	x: 6.81 m η = 42.2	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 10.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.81 m η = 66.1	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 4.0	η < 0.1	CUMPLE η = 66.1
N7/N265	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 3.06 m η = 9.9	x: 0.696 m η = 19.3	x: 0.696 m η = 84.2	x: 0.696 m η = 23.1	x: 0.696 m η = 30.5	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.696 m η = 98.7	η < 0.1	η = 1.0	x: 0.696 m η = 8.5	η = 0.4	CUMPLE η = 98.7
N265/N318	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.07 m η = 11.7	x: 0.112 m η = 25.5	x: 1.48 m η = 16.9	x: 2.07 m η = 11.9	x: 0.112 m η = 6.3	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.68 m η = 39.6	η < 0.1	η = 1.0	x: 0.112 m η = 1.7	η = 0.2	CUMPLE η = 39.6
N318/N263	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 0.561 m η = 11.8	x: 0 m η = 26.0	x: 0 m η = 15.6	x: 0 m η = 11.9	x: 0.563 m η = 7.1	η = 2.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 39.5	η < 0.1	η = 1.0	x: 0.563 m η = 1.3	η = 0.8	CUMPLE η = 39.5
N263/N261	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.84 m η = 19.9	x: 0.187 m η = 44.0	x: 1.32 m η = 12.7	x: 2.84 m η = 4.0	x: 2.84 m η = 7.5	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.13 m η = 49.3	η < 0.1	η = 0.4	x: 2.84 m η = 1.7	η = 0.1	CUMPLE η = 49.3
N261/N319	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 1.04 m η = 20.5	x: 0.112 m η = 44.9	x: 1.04 m η = 9.1	x: 1.04 m η = 10.7	x: 0.112 m η = 6.7	η = 1.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.04 m η = 46.0	η < 0.1	η = 4.9	x: 0.112 m η = 1.6	η = 0.3	CUMPLE η = 46.0
N319/N259	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 1.87 m η = 20.9	x: 0 m η = 45.4	x: 0.56 m η = 10.6	x: 0 m η = 10.7	x: 1.87 m η = 6.4	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.934 m η = 47.3	η < 0.1	η = 2.5	x: 1.87 m η = 1.4	η = 0.2	CUMPLE η = 47.3
N259/N10	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.93 m η = 19.4	x: 0.112 m η = 41.6	x: 2.93 m η = 14.8	x: 0.112 m η = 5.6	x: 2.93 m η = 8.7	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.93 m η = 56.8	η < 0.1	η = 0.3	x: 2.93 m η = 2.2	η = 0.1	CUMPLE η = 56.8
N9/N251	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.99 m η = 21.2	x: 0.696 m η = 47.7	x: 2.99 m η = 30.9	x: 2.99 m η = 5.4	x: 0.696 m η = 14.4	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.99 m η = 76.1	η < 0.1	η = 0.6	x: 0.696 m η = 2.5	η = 0.1	CUMPLE η = 76.1
N251/N321	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.07 m η = 23.0	x: 0.044 m η = 51.1	x: 0.855 m η = 25.0	x: 2.07 m η = 9.6	x: 2.07 m η = 4.7	η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.449 m η = 67.6	η < 0.1	η = 0.5	x: 2.07 m η = 0.9	η < 0.1	CUMPLE η = 67.6
N321/N253	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 0.561 m η = 23.2	x: 0 m η = 51.6	x: 0 m η = 19.0	x: 0 m η = 9.6	x: 0.563 m η = 9.1	η = 1.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 64.3	η < 0.1	η = 0.5	x: 0.563 m η = 1.6	η = 0.1	CUMPLE η = 64.3
N253/N255	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.84 m η = 25.1	x: 0.187 m η = 55.5	x: 1.32 m η = 13.1	x: 2.84 m η = 3.8	x: 2.84 m η = 7.5	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.32 m η = 58.1	η < 0.1	η = 0.2	x: 2.84 m η = 1.3	η < 0.1	CUMPLE η = 58.1
N255/N320	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 1.04 m η = 22.7	x: 0.106 m η = 49.9	x: 1.04 m η = 9.7	x: 1.04 m η = 10.6	x: 0.106 m η = 6.6	η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.04 m η = 50.4	η < 0.1	η = 5.3	x: 0.106 m η = 1.1	η = 0.3	CUMPLE η = 50.4
N320/N257	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 1.87 m η = 23.2	x: 0 m η = 50.5	x: 0.56 m η = 11.0	x: 0 m η = 10.6	x: 1.87 m η = 6.5	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.187 m η = 51.2	η < 0.1	η = 2.8	x: 1.87 m η = 1.0	η = 0.2	CUMPLE η = 51.2
N257/N10	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.93 m η = 20.3	x: 0.081 m η = 43.5	x: 2.93 m η = 15.3	x: 0.081 m η = 5.7	x: 2.93 m η = 8.8	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.93 m η = 58.8	η < 0.1	η = 0.6	x: 2.93 m η = 1.8	η = 0.1	CUMPLE η = 58.8
N11/N12	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m η = 11.6	x: 0 m η = 34.9	x: 0 m η = 60.1	x: 6.81 m η = 9.1	η = 10.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 78.1	η < 0.1	η = 0.7	η = 0.8	η = 0.1	CUMPLE η = 78.1
N13/N14	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 6.81 m η = 5.8	x: 0 m η = 18.3	x: 0 m η = 58.7	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 13.6	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.81 m η = 73.8	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 4.3	η < 0.1	CUMPLE η = 73.8
N12/N220	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 3.06 m η = 7.1	x: 0.696 m η = 15.4	x: 0.696 m η = 74.1	x: 0.696 m η = 23.2	x: 0.696 m η = 26.4	η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.696 m η = 84.2	η < 0.1	η = 1.0	x: 0.696 m η = 8.7	η = 0.4	CUMPLE η = 84.2
N220/N222	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.63 m η = 8.1	x: 0.112 m η = 20.5	x: 1.58 m η = 13.2	x: 0.112 m η = 1.6	x: 2.63 m η = 5.3	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.58 m η = 30.9	η < 0.1	η = 1.2	x: 0.112 m η = 1.5	η < 0.1	CUMPLE η = 30.9
N222/N224	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.84 m η = 13.7	x: 0.187 m η = 34.4	x: 1.32 m η = 10.3	x: 0.187 m η = 2.6	x: 2.84 m η = 5.8	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.32 m η = 38.6	η < 0.1	η = 0.1	x: 2.84 m η = 1.8	η < 0.1	CUMPLE η = 38.6
N224/N226	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.9 m η = 14.7	x: 0.112 m η = 35.5	x: 1.71 m η = 8.4	x: 2.9 m η = 2.2	x: 0.112 m η = 5.2	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.91 m η = 38.2	η < 0.1	η = 0.2	x: 0.112 m η = 1.6	η = 0.1	CUMPLE η = 38.2
N226/N15	$\bar{\lambda} < 2.0$	x: 2.93 m η = 14.0	x: 0.112 m η = 32.5	x: 2.93 m η = 10.9	x: 2.93 m η = 3.5	x: 2.93 m η = 6.5	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.93 m η = 42.7	η < 0.1	η = 0.2	x: 2.93 m η = 2.2	η = 0.1	CUMPLE η = 42.7
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M·V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z ·V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM·M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM·M _z ·V·V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M·V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z ·V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															



1.3.- Placas de anclaje

1.3.1.- Descripción

Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
N1	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)	8Ø16 mm L=40 cm Prolongación recta
N3,N295	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 15 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x30x5.0)	6Ø16 mm L=50 cm Prolongación recta
N6	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 20 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x6.0) Paralelos Y: 2(100x0x7.0)	8Ø20 mm L=35 cm Prolongación recta
N8	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x8.0)	8Ø20 mm L=35 cm Prolongación recta
N11	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 20 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x12.0)	8Ø20 mm L=65 cm Prolongación recta
N13	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x12.0)	8Ø20 mm L=60 cm Prolongación recta
N16	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x6.0) Paralelos Y: 2(100x0x6.0)	8Ø20 mm L=30 cm Prolongación recta
N18	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x7.0)	4Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
N21,N26,N31, N36	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x12.0)	8Ø20 mm L=55 cm Prolongación recta
N23,N28,N33, N38	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x14.0)	8Ø20 mm L=55 cm Prolongación recta
N41,N43	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x7.0)	4Ø20 mm L=50 cm Prolongación recta
N46,N48	Ancho X: 400 mm Ancho Y: 400 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x6.0)	6Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
N51,N53	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 15 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x30x5.0)	4Ø16 mm L=45 cm Prolongación recta
N56	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)	8Ø16 mm L=45 cm Prolongación recta
N57,N59	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)	8Ø16 mm L=35 cm Prolongación recta



Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
N58,N60	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)	4Ø16 mm L=45 cm Prolongación recta
N72,N80	Ancho X: 250 mm Ancho Y: 250 mm Espesor: 14 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø10 mm L=30 cm Prolongación recta
N74,N78	Ancho X: 250 mm Ancho Y: 250 mm Espesor: 15 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø10 mm L=30 cm Prolongación recta
N76	Ancho X: 250 mm Ancho Y: 250 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø10 mm L=30 cm Prolongación recta
N102,N110	Ancho X: 250 mm Ancho Y: 250 mm Espesor: 12 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø10 mm L=30 cm Prolongación recta
N104,N106,N108	Ancho X: 300 mm Ancho Y: 300 mm Espesor: 15 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x35x5.0) Paralelos Y: -	4Ø14 mm L=30 cm Prolongación recta
N192,N303	Ancho X: 400 mm Ancho Y: 400 mm Espesor: 20 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x5.0) Paralelos Y: 2(100x0x5.0)	8Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
N193	Ancho X: 500 mm Ancho Y: 500 mm Espesor: 30 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(150x0x8.0) Paralelos Y: 1(150x0x8.0)	8Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
N210	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x6.0) Paralelos Y: 1(100x0x6.0)	8Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
N211	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 15 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x30x5.0)	6Ø16 mm L=55 cm Prolongación recta
N235	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x11.0)	8Ø20 mm L=60 cm Prolongación recta
N266	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 18 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x7.0)	8Ø20 mm L=30 cm Prolongación recta
N281	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x7.0) Paralelos Y: 1(100x0x6.0)	8Ø20 mm L=40 cm Prolongación recta
N282,N286	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x6.0) Paralelos Y: 1(100x0x6.0)	8Ø20 mm L=35 cm Prolongación recta
N284,N288	Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 20 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)	8Ø16 mm L=50 cm Prolongación recta
N298	Ancho X: 400 mm Ancho Y: 400 mm Espesor: 20 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x5.0) Paralelos Y: 2(100x0x5.0)	8Ø20 mm L=40 cm Prolongación recta



Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
N301	Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x0x7.0) Paralelos Y: 1(100x0x6.0)	8Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta

1.3.3.- Medición pernos placas de anclaje

Pilares	Pernos	Acero	Longitud m	Peso kp	Totales m	Totales kp
N1	8Ø16 mm L=45 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.45	8 x 0.72		
N3, N295	12Ø16 mm L=55 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	12 x 0.55	12 x 0.87		
N6	8Ø20 mm L=41 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.41	8 x 1.01		
N8	8Ø20 mm L=41 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.41	8 x 1.01		
N11	8Ø20 mm L=71 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.71	8 x 1.75		
N13	8Ø20 mm L=66 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.66	8 x 1.62		
N16	8Ø20 mm L=36 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.36	8 x 0.88		
N18	4Ø20 mm L=51 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.51	4 x 1.25		
N21, N26, N31, N36	32Ø20 mm L=61 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	32 x 0.61	32 x 1.50		
N23, N28, N33, N38	32Ø20 mm L=61 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	32 x 0.61	32 x 1.50		
N41, N43	8Ø20 mm L=56 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.56	8 x 1.38		
N46, N48	12Ø20 mm L=51 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	12 x 0.51	12 x 1.25		
N51, N53	8Ø16 mm L=50 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.50	8 x 0.79		
N56	8Ø16 mm L=50 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.50	8 x 0.80		
N57, N59	16Ø16 mm L=40 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	16 x 0.40	16 x 0.64		
N58, N60	8Ø16 mm L=50 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.50	8 x 0.80		
N72, N80	8Ø10 mm L=34 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.34	8 x 0.21		
N74, N78	8Ø10 mm L=35 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.35	8 x 0.21		
N76	4Ø10 mm L=35 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.35	4 x 0.21		
N102, N110	8Ø10 mm L=34 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.34	8 x 0.21		
N104, N106, N108	12Ø14 mm L=35 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	12 x 0.35	12 x 0.42		
N192, N303	16Ø20 mm L=51 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	16 x 0.51	16 x 1.26		
N193	8Ø20 mm L=52 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.52	8 x 1.28		
N210	8Ø20 mm L=52 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.52	8 x 1.27		
N211	6Ø16 mm L=60 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	6 x 0.60	6 x 0.95		
N235	8Ø20 mm L=66 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.66	8 x 1.62		
N266	8Ø20 mm L=36 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.36	8 x 0.88		
N281	8Ø20 mm L=47 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.47	8 x 1.15		
N282, N286	16Ø20 mm L=42 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	16 x 0.42	16 x 1.02		
N284, N288	16Ø16 mm L=56 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	16 x 0.56	16 x 0.88		
N298	8Ø20 mm L=46 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.46	8 x 1.13		
N301	8Ø20 mm L=52 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.52	8 x 1.27		
Totales					169.69	358.74

1.3.4.- Comprobación de las placas de anclaje (Ejemplo de una de ellas)

Referencia: N1
 -Placa base: Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 18 mm
 -Pernos: 8Ø16 mm L=40 cm Prolongación recta
 -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
 -Rigidizadores: Paralelos X: 2(100x30x5.0) Paralelos Y: 1(100x30x5.0)



Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 146 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores:	Máximo: 50	
- Paralelos a X:	Calculado: 43.3	Cumple
- Paralelos a Y:	Calculado: 43.3	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 19 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 54.71 kN Calculado: 42.92 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 38.29 kN Calculado: 6.46 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 54.71 kN Calculado: 52.15 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 64.32 kN Calculado: 40.59 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 400 MPa Calculado: 202.378 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 158.4 kN Calculado: 6.07 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 275 MPa	
- Derecha:	Calculado: 93.7959 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 115.538 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 236.85 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 259.153 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 13437.7	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 10996	Cumple
- Arriba:	Calculado: 5224.45	Cumple
- Abajo:	Calculado: 4773.09	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 275 MPa Calculado: 225.654 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

1.- CIMENTACIÓN

1.1.- Elementos de cimentación aislados

1.1.1.- Descripción

Referencias	Geometría	Armado
N3 y N284	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 112.5 cm Ancho inicial Y: 112.5 cm Ancho final X: 112.5 cm Ancho final Y: 112.5 cm Ancho zapata X: 225.0 cm Ancho zapata Y: 225.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 12Ø12c/18 Sup Y: 12Ø12c/18 Inf X: 12Ø12c/18 Inf Y: 12Ø12c/18
N288	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 122.5 cm Ancho inicial Y: 122.5 cm Ancho final X: 122.5 cm Ancho final Y: 122.5 cm Ancho zapata X: 245.0 cm Ancho zapata Y: 245.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 13Ø12c/18 Sup Y: 13Ø12c/18 Inf X: 13Ø12c/18 Inf Y: 13Ø12c/18
N286, N281, N282, N210 y N301	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 127.5 cm Ancho inicial Y: 127.5 cm Ancho final X: 127.5 cm Ancho final Y: 127.5 cm Ancho zapata X: 255.0 cm Ancho zapata Y: 255.0 cm Canto: 55.0 cm	Sup X: 13Ø12c/20 Sup Y: 13Ø12c/20 Inf X: 13Ø12c/20 Inf Y: 13Ø12c/20
N1	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 132.5 cm Ancho inicial Y: 132.5 cm Ancho final X: 132.5 cm Ancho final Y: 132.5 cm Ancho zapata X: 265.0 cm Ancho zapata Y: 265.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 14Ø12c/18 Sup Y: 14Ø12c/18 Inf X: 14Ø12c/18 Inf Y: 14Ø12c/18
N6	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 187.5 cm Ancho inicial Y: 187.5 cm Ancho final X: 187.5 cm Ancho final Y: 187.5 cm Ancho zapata X: 375.0 cm Ancho zapata Y: 375.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 28Ø12c/13 Sup Y: 28Ø12c/13 Inf X: 28Ø12c/13 Inf Y: 28Ø12c/13



Referencias	Geometría	Armado
N11	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 177.5 cm Ancho inicial Y: 177.5 cm Ancho final X: 177.5 cm Ancho final Y: 177.5 cm Ancho zapata X: 355.0 cm Ancho zapata Y: 355.0 cm Canto: 80.0 cm	Sup X: 14Ø16c/25 Sup Y: 14Ø16c/25 Inf X: 14Ø16c/25 Inf Y: 14Ø16c/25
N16, N21, N26, N31, N36, N38, N33, N28 y N23	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 157.5 cm Ancho inicial Y: 157.5 cm Ancho final X: 157.5 cm Ancho final Y: 157.5 cm Ancho zapata X: 315.0 cm Ancho zapata Y: 315.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 19Ø12c/16 Sup Y: 19Ø12c/16 Inf X: 19Ø12c/16 Inf Y: 19Ø12c/16
N192, N303, N46 y N48	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 135.0 cm Ancho inicial Y: 135.0 cm Ancho final X: 135.0 cm Ancho final Y: 135.0 cm Ancho zapata X: 270.0 cm Ancho zapata Y: 270.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 15Ø12c/18 Sup Y: 15Ø12c/18 Inf X: 15Ø12c/18 Inf Y: 15Ø12c/18
N193	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 130.0 cm Ancho inicial Y: 130.0 cm Ancho final X: 130.0 cm Ancho final Y: 130.0 cm Ancho zapata X: 260.0 cm Ancho zapata Y: 260.0 cm Canto: 55.0 cm	Sup X: 13Ø12c/20 Sup Y: 13Ø12c/20 Inf X: 13Ø12c/20 Inf Y: 13Ø12c/20
N211	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 102.5 cm Ancho inicial Y: 102.5 cm Ancho final X: 102.5 cm Ancho final Y: 102.5 cm Ancho zapata X: 205.0 cm Ancho zapata Y: 205.0 cm Canto: 65.0 cm	Sup X: 12Ø12c/17 Sup Y: 12Ø12c/17 Inf X: 12Ø12c/17 Inf Y: 12Ø12c/17
N235 y N13	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 147.5 cm Ancho inicial Y: 147.5 cm Ancho final X: 147.5 cm Ancho final Y: 147.5 cm Ancho zapata X: 295.0 cm Ancho zapata Y: 295.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 18Ø12c/16 Sup Y: 18Ø12c/16 Inf X: 18Ø12c/16 Inf Y: 18Ø12c/16



Referencias	Geometría	Armado
N266	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 137.5 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 137.5 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 275.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 15Ø12c/18 Sup Y: 15Ø12c/18 Inf X: 15Ø12c/18 Inf Y: 15Ø12c/18
N295	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 102.5 cm Ancho inicial Y: 102.5 cm Ancho final X: 102.5 cm Ancho final Y: 102.5 cm Ancho zapata X: 205.0 cm Ancho zapata Y: 205.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 11Ø12c/18 Sup Y: 11Ø12c/18 Inf X: 11Ø12c/18 Inf Y: 11Ø12c/18
N298	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 125.0 cm Ancho inicial Y: 125.0 cm Ancho final X: 125.0 cm Ancho final Y: 125.0 cm Ancho zapata X: 250.0 cm Ancho zapata Y: 250.0 cm Canto: 55.0 cm	Sup X: 12Ø12c/20 Sup Y: 12Ø12c/20 Inf X: 12Ø12c/20 Inf Y: 12Ø12c/20
N41 y N43	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 127.5 cm Ancho inicial Y: 127.5 cm Ancho final X: 127.5 cm Ancho final Y: 127.5 cm Ancho zapata X: 255.0 cm Ancho zapata Y: 255.0 cm Canto: 60.0 cm	Sup X: 14Ø12c/18 Sup Y: 14Ø12c/18 Inf X: 14Ø12c/18 Inf Y: 14Ø12c/18
N51, N56 y N53	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 72.5 cm Ancho inicial Y: 72.5 cm Ancho final X: 72.5 cm Ancho final Y: 72.5 cm Ancho zapata X: 145.0 cm Ancho zapata Y: 145.0 cm Canto: 55.0 cm	Sup X: 7Ø12c/20 Sup Y: 7Ø12c/20 Inf X: 7Ø12c/20 Inf Y: 7Ø12c/20
N58 y N60	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 57.5 cm Ancho inicial Y: 57.5 cm Ancho final X: 57.5 cm Ancho final Y: 57.5 cm Ancho zapata X: 115.0 cm Ancho zapata Y: 115.0 cm Canto: 55.0 cm	Sup X: 6Ø12c/20 Sup Y: 6Ø12c/20 Inf X: 6Ø12c/20 Inf Y: 6Ø12c/20



Referencias	Geometría	Armado
N80 y N72	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 52.5 cm Ancho inicial Y: 52.5 cm Ancho final X: 52.5 cm Ancho final Y: 52.5 cm Ancho zapata X: 105.0 cm Ancho zapata Y: 105.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 5Ø16c/20 Y: 5Ø16c/20
N110 y N102	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 47.5 cm Ancho inicial Y: 47.5 cm Ancho final X: 47.5 cm Ancho final Y: 47.5 cm Ancho zapata X: 95.0 cm Ancho zapata Y: 95.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 5Ø16c/20 Y: 5Ø16c/20
N108 y N106	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 50.0 cm Ancho inicial Y: 50.0 cm Ancho final X: 50.0 cm Ancho final Y: 50.0 cm Ancho zapata X: 100.0 cm Ancho zapata Y: 100.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 5Ø16c/20 Y: 5Ø16c/20
N78, N76 y N74	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 57.5 cm Ancho inicial Y: 57.5 cm Ancho final X: 57.5 cm Ancho final Y: 57.5 cm Ancho zapata X: 115.0 cm Ancho zapata Y: 115.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 6Ø16c/20 Y: 6Ø16c/20
N57 y N59	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 57.5 cm Ancho inicial Y: 57.5 cm Ancho final X: 57.5 cm Ancho final Y: 57.5 cm Ancho zapata X: 115.0 cm Ancho zapata Y: 115.0 cm Canto: 50.0 cm	Sup X: 5Ø12c/22 Sup Y: 5Ø12c/22 Inf X: 5Ø12c/22 Inf Y: 5Ø12c/22
N104	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 45.0 cm Ancho inicial Y: 45.0 cm Ancho final X: 45.0 cm Ancho final Y: 45.0 cm Ancho zapata X: 90.0 cm Ancho zapata Y: 90.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 4Ø16c/20 Y: 4Ø16c/20



Referencias	Geometría	Armado
N18	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 147.5 cm Ancho inicial Y: 147.5 cm Ancho final X: 147.5 cm Ancho final Y: 147.5 cm Ancho zapata X: 295.0 cm Ancho zapata Y: 295.0 cm Canto: 65.0 cm	Sup X: 17Ø12c/17 Sup Y: 17Ø12c/17 Inf X: 17Ø12c/17 Inf Y: 17Ø12c/17
N8	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 167.5 cm Ancho inicial Y: 167.5 cm Ancho final X: 167.5 cm Ancho final Y: 167.5 cm Ancho zapata X: 335.0 cm Ancho zapata Y: 335.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 22Ø12c/15 Sup Y: 22Ø12c/15 Inf X: 22Ø12c/15 Inf Y: 22Ø12c/15

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: N3 y N284	2x100.80		201.60	2x3.04	2x0.51
Referencia: N288	119.33		119.33	3.60	0.60
Referencias: N286, N281, N282, N210 y N301	5x124.43		622.15	5x3.58	5x0.65
Referencia: N1	139.48		139.48	4.21	0.70
Referencia: N6	399.26		399.26	11.95	1.41
Referencia: N11		335.41	335.41	10.08	1.26
Referencias: N16, N21, N26, N31, N36, N38, N33, N28 y N23	9x226.38		2037.42	9x6.95	9x0.99
Referencias: N192, N303, N46 y N48	4x152.37		609.48	4x4.37	4x0.73
Referencia: N193	126.94		126.94	3.72	0.68
Referencia: N211	91.43		91.43	2.73	0.42
Referencias: N235 y N13	2x200.42		400.84	2x6.09	2x0.87
Referencia: N266	155.28		155.28	4.54	0.76
Referencia: N295	83.78		83.78	2.52	0.42
Referencia: N298	112.51		112.51	3.44	0.63
Referencias: N41 y N43	2x133.98		267.96	2x3.90	2x0.65
Referencias: N51, N56 y N53	3x43.21		129.63	3x1.16	3x0.21
Referencias: N58 y N60	2x31.42		62.84	2x0.73	2x0.13
Referencias: N80 y N72		2x21.69	43.38	2x0.55	2x0.11
Referencias: N110 y N102		2x19.98	39.96	2x0.45	2x0.09
Referencias: N108 y N106		2x20.83	41.66	2x0.50	2x0.10
Referencias: N78, N76 y N74		3x28.12	84.36	3x0.66	3x0.13
Referencias: N57 y N59	2x26.18		52.36	2x0.66	2x0.13
Referencia: N104		15.27	15.27	0.41	0.08
Referencia: N18	189.29		189.29	5.66	0.87
Referencia: N8	279.31		279.31	8.42	1.12
Totales	6080.89	560.04	6640.93	196.46	30.25

1.2.- Vigas

1.2.1.- Descripción

Referencias	Geometría	Armado
-------------	-----------	--------



Referencias	Geometría	Armado
C [N3-N288]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N288-N286]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N281-N286] y C [N281-N282]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N282-N284]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N284-N1]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N1-N298] y C [N210-N193]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N298-N301]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N301-N303]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N303-N295]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N295-N266]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N266-N235], C [N36-N41] y C [N43-N38]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N235-N211]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N211-N210]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N193-N192]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N192-N16]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N16-N11]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25



Referencias	Geometría	Armado
C [N11-N6]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N6-N1]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N16-N21], C [N21-N26], C [N26-N31], C [N31-N36], C [N38-N33], C [N33-N28], C [N28-N23] y C [N13-N8]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N41-N46] y C [N48-N43]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N46-N51] y C [N53-N48]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N51-N58], C [N57-N56], C [N56-N59] y C [N60-N53]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N58-N57], C [N59-N60], C [N74-N76] y C [N76-N78]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N23-N18]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N18-N13]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N8-N3]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N41-N110] y C [N102-N43]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N110-N108]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N108-N106]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N106-N104]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N104-N102]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N102-N72] y C [N110-N80]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20



Referencias	Geometría	Armado
C [N72-N60] y C [N80-N58]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N104-N74]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N74-N59] y C [N78-N57]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N106-N76] y C [N108-N78]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N76-N56]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 3 Ø20 Inferior: 3 Ø20 Piel: 1x2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N48-N72] y C [N80-N46]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N72-N74]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25
C [N78-N80]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2 Ø20 Inferior: 2 Ø20 Estribos: 1xØ8c/25

Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø20	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencia: C [N3-N288]	6.92	59.46	66.38	0.42	0.11
Referencia: C [N288-N286]	6.34	59.14	65.48	0.40	0.10
Referencias: C [N281-N286] y C [N281-N282]	2x6.35	2x59.08	130.86	2x0.39	2x0.10
Referencia: C [N282-N284]	6.93	59.36	66.29	0.42	0.10
Referencia: C [N284-N1]	6.93	59.25	66.18	0.41	0.10
Referencias: C [N1-N298] y C [N210-N193]	2x6.34	2x59.03	130.74	2x0.39	2x0.10
Referencia: C [N298-N301]	6.34	59.14	65.48	0.40	0.10
Referencia: C [N301-N303]	6.34	58.92	65.26	0.38	0.10
Referencia: C [N303-N295]	6.93	59.40	66.33	0.42	0.11
Referencia: C [N295-N266]	11.55	132.65	144.20	0.74	0.18
Referencias: C [N266-N235], C [N36-N41] y C [N43-N38]	3x10.39	3x87.63	294.06	3x0.66	3x0.17
Referencia: C [N235-N211]	10.97	131.89	142.86	0.72	0.18
Referencia: C [N211-N210]	6.93	59.62	66.55	0.43	0.11
Referencia: C [N193-N192]	6.35	58.86	65.21	0.38	0.09
Referencia: C [N192-N16]	5.77	58.81	64.58	0.33	0.08
Referencia: C [N16-N11]	9.24	85.18	94.42	0.58	0.15
Referencia: C [N11-N6]	8.65	83.88	92.53	0.54	0.13
Referencia: C [N6-N1]	9.81	85.82	95.63	0.61	0.15



Elemento	B 400 S, CN (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø20	Total	HA-25, Control Estadístico	Limpieza
Referencias: C [N16-N21], C [N21-N26], C [N26-N31], C [N31-N36], C [N38-N33], C [N33-N28], C [N28-N23] y C [N13-N8]	8x9.81	8x86.10	767.28	8x0.62	8x0.15
Referencias: C [N41-N46] y C [N48-N43]	2x10.97	2x88.44	198.82	2x0.70	2x0.18
Referencias: C [N46-N51] y C [N53-N48]	2x12.13	2x133.69	291.64	2x0.79	2x0.20
Referencias: C [N51-N58], C [N57-N56], C [N56-N59] y C [N60-N53]	4x9.24	4x63.69	291.72	4x0.59	4x0.15
Referencias: C [N58-N57], C [N59-N60], C [N74-N76] y C [N76-N78]	4x9.81	4x66.35	304.64	4x0.62	4x0.15
Referencia: C [N23-N18]	9.81	86.59	96.40	0.63	0.16
Referencia: C [N18-N13]	10.39	87.09	97.48	0.65	0.16
Referencia: C [N8-N3]	10.40	87.89	98.29	0.67	0.17
Referencias: C [N41-N110] y C [N102-N43]	2x8.08	2x61.69	139.54	2x0.52	2x0.13
Referencia: C [N110-N108]	10.40	65.80	76.20	0.64	0.16
Referencia: C [N108-N106]	9.81	65.86	75.67	0.64	0.16
Referencia: C [N106-N104]	10.39	66.63	77.02	0.65	0.16
Referencia: C [N104-N102]	10.39	67.61	78.00	0.65	0.16
Referencias: C [N102-N72] y C [N110-N80]	2x17.89	2x180.14	396.06	2x0.96	2x0.24
Referencias: C [N72-N60] y C [N80-N58]	2x17.89	2x180.35	396.48	2x0.94	2x0.24
Referencia: C [N104-N74]	17.90	178.75	196.65	0.96	0.24
Referencias: C [N74-N59] y C [N78-N57]	2x17.90	2x179.40	394.60	2x0.94	2x0.23
Referencias: C [N106-N76] y C [N108-N78]	2x17.89	2x179.83	395.44	2x0.95	2x0.24
Referencia: C [N76-N56]	17.32	178.72	196.04	0.91	0.23
Referencias: C [N48-N72] y C [N80-N46]	2x8.08	2x61.26	138.68	2x0.50	2x0.13
Referencia: C [N72-N74]	9.81	66.20	76.01	0.62	0.16
Referencia: C [N78-N80]	9.81	66.20	76.01	0.62	0.16
Totales	675.32	5966.39	6641.71	40.72	10.18

ANEJO B. RESULTADOS DE LAS UNIONES.

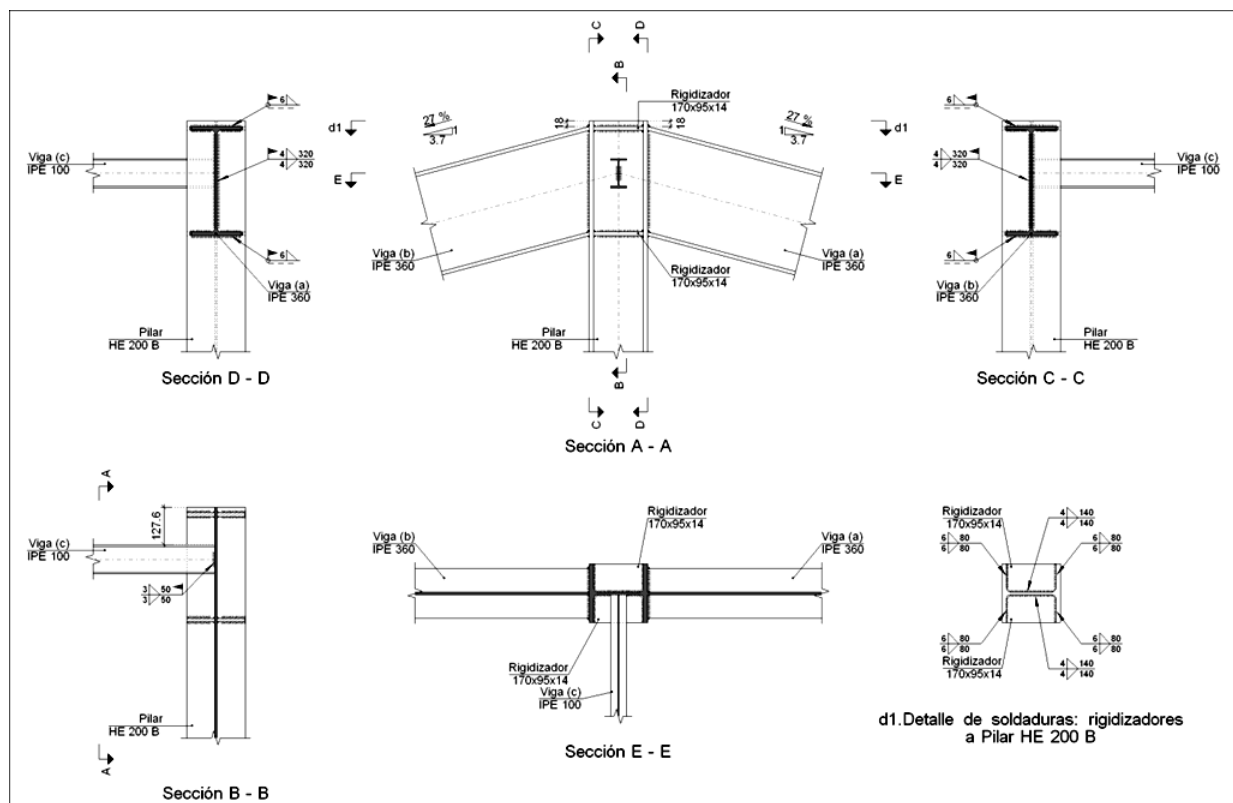
En este anejo se mostrarán una serie de resultados de mediciones y cálculos de algunas de las uniones calculadas por el “Nuevo Metal 3D”. Se mostrarán tres uniones tipo calculadas en primer lugar con uniones soldadas y en segundo lugar con uniones atornilladas para tener la comparación de las dos opciones.

Así mismo mostraremos también los resultados de una de las uniones pertenecientes a los arriostramientos mediante Cruces de San Andrés.

UNIONES EN EL NUDO N55.

1.- TIPO 6: SOLDADA.

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión



Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	430.0
Viga	IPE 360		360	170	12.7	8	S275	275.0	430.0
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	275.0	430.0

Elementos complementarios							
Pieza	Esquema	Geometría			Tipo	Acero	
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		170	95	14	S275	275.0	430.0

c) Comprobación
1) Pilar HE 200 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación		Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltz		-	18.89	64.71	29.19
	Cortante		kN	34.998	457.527	7.65
Rigidizadores	Ala	Desgarro	MPa	18.036	261.905	6.89
		Cortante	MPa	17.343	261.905	6.62
Viga (c) IPE 100	Alma	Punzonamiento	kN	23.281	200.992	11.58
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	23.281	60.887	38.24



Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas del pilar	6	24.2	24.2	3.6	48.7	12.04	24.2	7.04	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma del pilar	4	0.0	0.0	6.7	11.5	2.85	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas del pilar	6	28.9	28.9	2.2	57.9	14.31	28.9	8.40	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma del pilar	4	0.0	0.0	7.0	12.1	2.98	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas del pilar	6	28.4	28.4	3.7	57.2	14.13	28.4	8.26	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma del pilar	4	0.0	0.0	6.6	11.4	2.82	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas del pilar	6	25.6	25.6	2.8	51.5	12.72	25.6	7.45	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma del pilar	4	0.0	0.0	7.0	12.2	3.01	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga (a) IPE 360

Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	6	43.8	57.0	2.7	108.1	26.72	56.5	16.43	430.0	0.85
Soldadura del alma	4	21.4	21.4	10.2	46.4	11.46	21.4	6.23	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	6	43.4	56.5	3.4	107.2	26.49	57.0	16.58	430.0	0.85

3) Viga (b) IPE 360

Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	6	43.6	56.9	2.6	107.8	26.64	56.4	16.38	430.0	0.85
Soldadura del alma	4	21.4	21.4	10.2	46.4	11.46	21.4	6.23	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	6	43.2	56.3	3.5	106.8	26.39	56.8	16.51	430.0	0.85



4) Viga (c) IPE 100

Soldaduras en ángulo										
Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	3	54.9	54.9	1.2	109.8	27.12	54.9	15.95	430.0	0.85

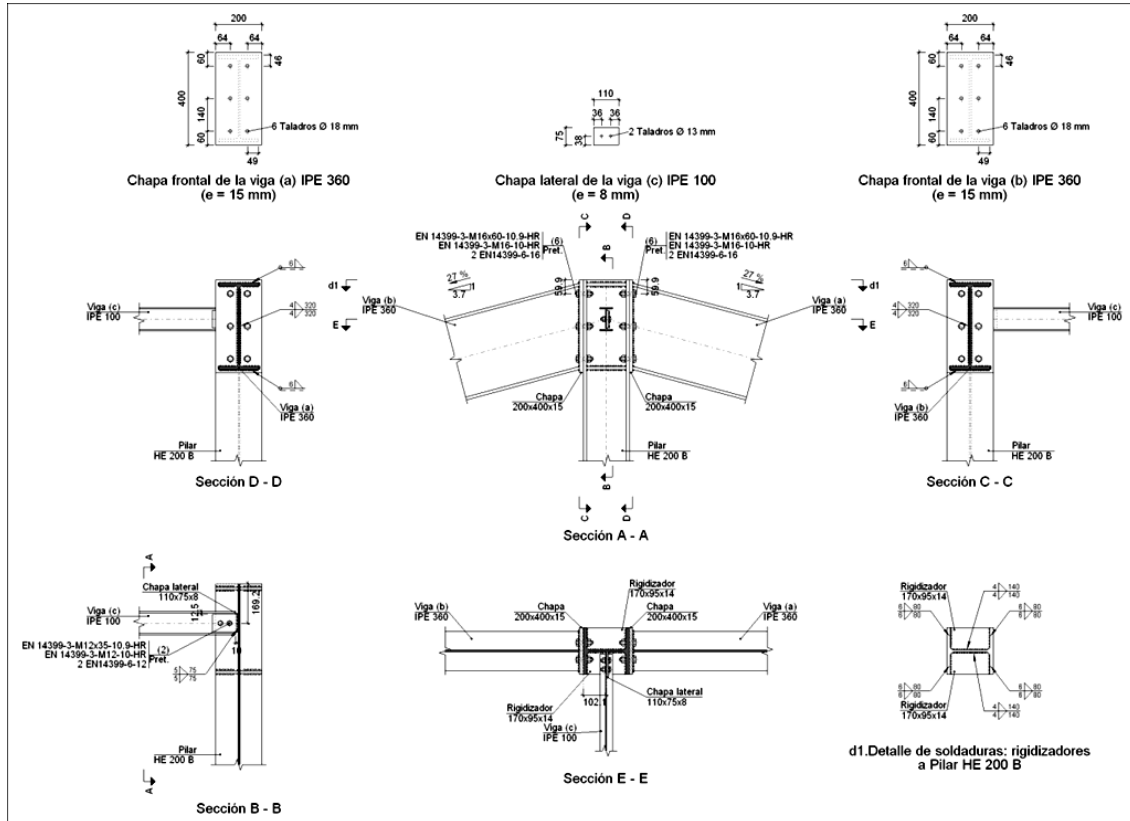
d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
430.0	En taller	En ángulo	4	1120
			6	1280
	En el lugar de montaje	En ángulo	3	100
			4	1280
			6	1332

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	170x95x14	7.10
	Total			7.10

2.- TIPO 6: ATORNILLADA.

a) Detalle

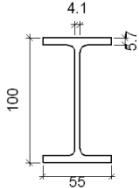


b) Descripción de los componentes de la unión

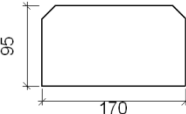
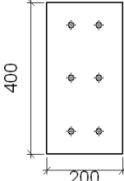
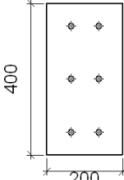
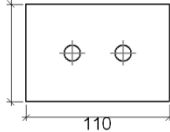
Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	430.0
Viga	IPE 360		360	170	12.7	8	S275	275.0	430.0



Perfiles

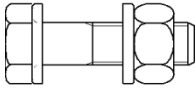
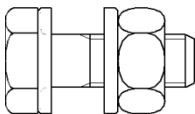
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Viga	IPE 100		100	55	5.7	4.1	S275	275.0	430.0

Elementos complementarios

Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		170	95	14	-	-	S275	275.0	430.0
Chapa frontal: Viga (b) IPE 360		200	400	15	6	18	S275	275.0	430.0
Chapa frontal: Viga (a) IPE 360		200	400	15	6	18	S275	275.0	430.0
Chapa lateral: Viga (c) IPE 100		110	75	8	2	13	S275	275.0	430.0



Elementos de tornillería

Descripción	Pretensado	Geometría			Acero		
		Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
EN 14399-3-M16x60-10.9-HR EN 14399-3-M16-10-HR 2 EN14399-6-16	X		M16	60	10.9	900.0	1000.0
EN 14399-3-M12x35-10.9-HR EN 14399-3-M12-10-HR 2 EN14399-6-12	X		M12	35	10.9	900.0	1000.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 200 B

Comprobaciones de resistencia

Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	-	18.89	64.71	29.19
	Cortante	kN	34.998	457.527	7.65
Rigidizadores	Desgarro	MPa	18.036	261.905	6.89
	Cortante	MPa	17.343	261.905	6.62
Viga (b) IPE 360	Tracción por flexión	kN	25.961	113.040	22.97
	Tracción	kN	11.594	291.227	3.98
	Tracción	kN	45.448	163.308	27.83
Viga (c) IPE 100	Punzonamiento	kN	23.281	308.362	7.55
	Flexión por fuerza perpendicular	kN	23.281	70.035	33.24
Viga (a) IPE 360	Tracción por flexión	kN	25.994	113.040	23.00
	Tracción	kN	11.609	291.227	3.99
	Tracción	kN	45.536	163.308	27.88

Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas del pilar	6	24.2	24.2	3.6	48.7	12.04	24.2	7.04	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma del pilar	4	0.0	0.0	6.7	11.5	2.85	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas del pilar	6	28.9	28.9	2.2	57.9	14.31	28.9	8.40	430.0	0.85



Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador inferior al alma del pilar	4	0.0	0.0	7.0	12.1	2.98	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas del pilar	6	28.4	28.4	3.7	57.2	14.13	28.4	8.26	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma del pilar	4	0.0	0.0	6.6	11.4	2.82	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas del pilar	6	25.6	25.6	2.8	51.5	12.72	25.6	7.45	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma del pilar	4	0.0	0.0	7.0	12.2	3.01	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga (a) IPE 360

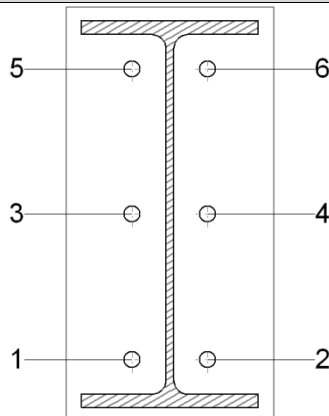
Comprobaciones de resistencia

Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	22.768	95.585	23.82
Ala	Compresión	kN	48.162	201.004	23.96
	Tracción	kN	13.550	269.416	5.03
Alma	Tracción	kN	45.536	203.042	22.43

Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	6	43.8	57.0	2.7	108.1	26.72	56.5	16.43	430.0	0.85
Soldadura del alma	4	36.1	36.1	11.1	74.8	18.48	36.1	10.51	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	6	43.4	56.5	3.4	107.2	26.49	57.0	16.58	430.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos





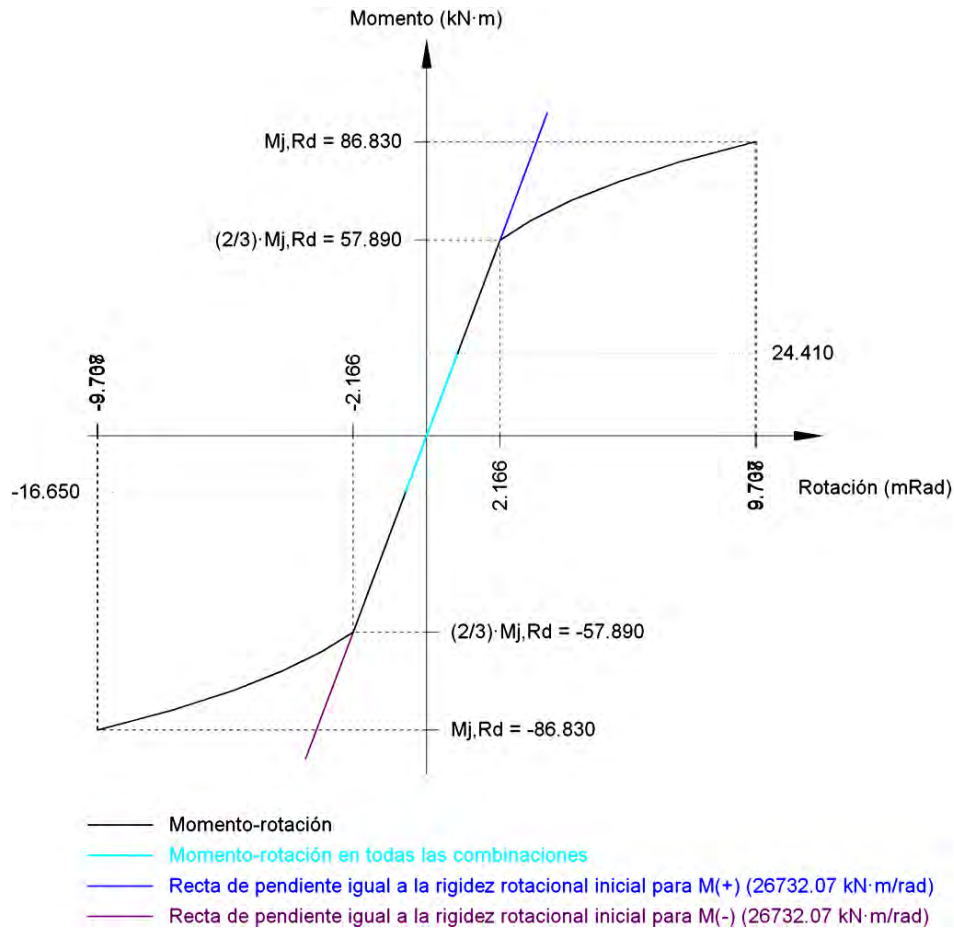
Comprobaciones para los tornillos

Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y deslizamiento	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	M16	Deslizamiento	5.098	26.376	19.33	Vástago	101.468	113.040	89.76	19.33	89.76
		Aplastamiento	5.098	206.400	2.47	Punzonamiento	23.447	275.062	8.52		
2	M16	Deslizamiento	5.585	26.376	21.18	Vástago	101.491	113.040	89.78	21.37	89.78
		Aplastamiento	5.585	206.400	2.71	Punzonamiento	23.783	275.062	8.65		
3	M16	Deslizamiento	5.189	26.376	19.67	Vástago	101.423	113.040	89.72	19.67	89.72
		Aplastamiento	5.189	206.400	2.51	Punzonamiento	22.768	275.062	8.28		
4	M16	Deslizamiento	5.067	26.376	19.21	Vástago	101.275	113.040	89.59	19.21	89.59
		Aplastamiento	5.067	206.400	2.45	Punzonamiento	20.539	275.062	7.47		
5	M16	Deslizamiento	5.290	26.376	20.05	Vástago	101.638	113.040	89.91	20.05	89.91
		Aplastamiento	5.290	206.400	2.56	Punzonamiento	25.994	275.062	9.45		
6	M16	Deslizamiento	5.170	26.376	19.60	Vástago	101.611	113.040	89.89	19.60	89.89
		Aplastamiento	5.170	206.400	2.50	Punzonamiento	25.595	275.062	9.31		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	13016.47	26732.07
Calculada para momentos negativos	13016.47	26732.07

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



3) Viga (b) IPE 360

Comprobaciones de resistencia

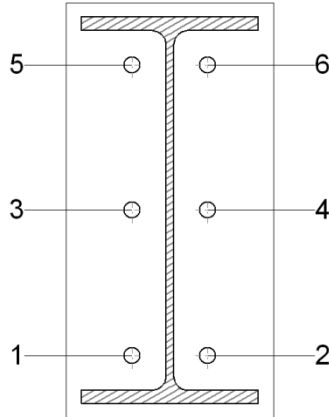
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	22.724	95.585	23.77
Ala	Compresión	kN	47.895	200.744	23.86
	Tracción	kN	13.533	269.416	5.02
Alma	Tracción	kN	45.448	203.042	22.38

Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	6	43.6	56.9	2.6	107.8	26.64	56.4	16.38	430.0	0.85
Soldadura del alma	4	36.1	36.1	11.1	74.7	18.46	36.1	10.49	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	6	43.2	56.3	3.5	106.8	26.39	56.8	16.51	430.0	0.85



Comprobaciones para los tornillos

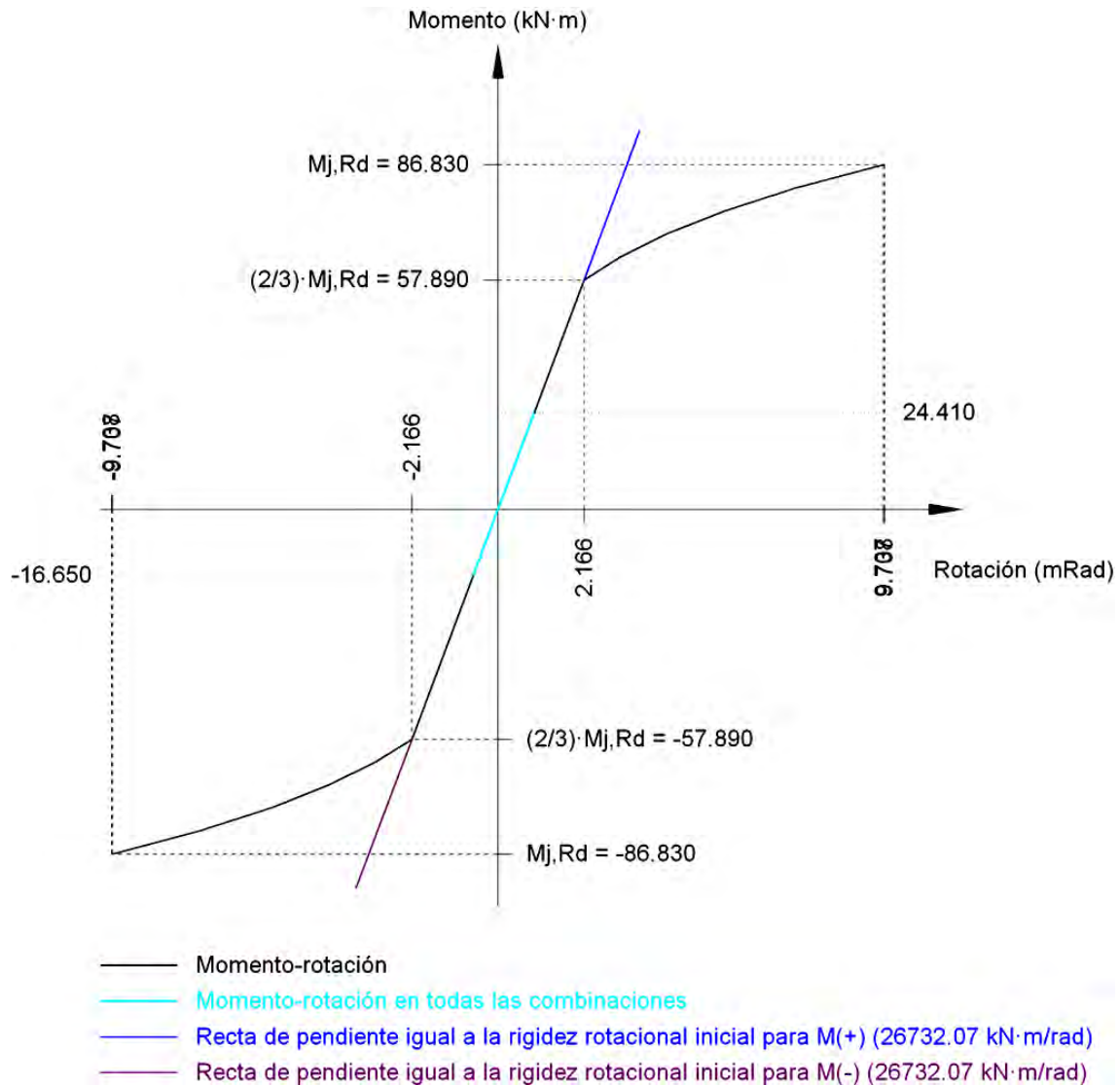


Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y deslizamiento	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	M16	Deslizamiento	5.321	26.376	20.17	Vástago	101.491	113.040	89.78	20.17	89.78
		Aplastamiento	5.321	206.400	2.58	Punzonamiento	23.781	275.062	8.65		
2	M16	Deslizamiento	5.056	26.376	19.17	Vástago	101.468	113.040	89.76	19.17	89.76
		Aplastamiento	5.056	206.400	2.45	Punzonamiento	23.445	275.062	8.52		
3	M16	Deslizamiento	5.019	26.376	19.03	Vástago	101.274	113.040	89.59	19.03	89.59
		Aplastamiento	5.019	206.400	2.43	Punzonamiento	20.532	275.062	7.46		
4	M16	Deslizamiento	5.142	26.376	19.49	Vástago	101.420	113.040	89.72	19.49	89.72
		Aplastamiento	5.142	206.400	2.49	Punzonamiento	22.724	275.062	8.26		
5	M16	Deslizamiento	5.117	26.376	19.40	Vástago	101.609	113.040	89.89	19.40	89.89
		Aplastamiento	5.117	206.400	2.48	Punzonamiento	25.563	275.062	9.29		
6	M16	Deslizamiento	5.238	26.376	19.86	Vástago	101.636	113.040	89.91	19.86	89.91
		Aplastamiento	5.238	206.400	2.54	Punzonamiento	25.961	275.062	9.44		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	13016.47	26732.07
Calculada para momentos negativos	13016.47	26732.07

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



4) Viga (c) IPE 100

Comprobaciones de resistencia

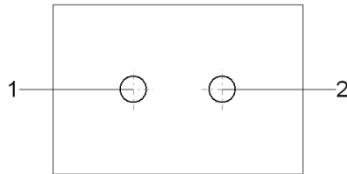
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Pandeo local	MPa	41.550	241.300	17.22
	Aplastamiento	kN	11.646	61.930	18.80
	Desgarro	kN	23.284	75.001	31.05
Alma	Aplastamiento	kN	11.663	31.760	36.72
	Desgarro	kN	23.284	62.727	37.12



Soldaduras en ángulo

Descripción	a (mm)	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (MPa)	β_w
		σ_{\perp} (MPa)	τ_{\perp} (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	Valor (MPa)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (MPa)	Aprov. (%)		
Soldadura de la chapa lateral	5	21.9	21.9	0.5	43.9	10.85	21.9	6.38	430.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y deslizamiento	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	M12	Deslizamiento	11.663	14.162	82.35	Vástago	53.645	60.696	88.38	82.35	88.38
		Aplastamiento	11.663	75.165	15.52	Punzonamiento	0.000	61.027	0.00		
2	M12	Deslizamiento	11.646	14.162	82.23	Vástago	53.645	60.696	88.38	82.23	88.38
		Aplastamiento	11.646	61.930	18.80	Punzonamiento	0.000	61.027	0.00		

d) Medición

Soldaduras

f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
430.0	En taller	En ángulo	4	2400
			5	150
			6	2612

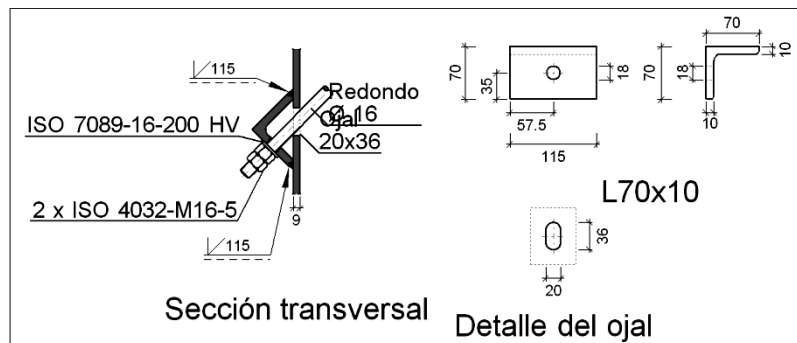
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	170x95x14	7.10
	Chapas	1	110x75x8	0.52
		2	200x400x15	18.84
	Total			26.46

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 10.9	2	EN 14399-3-M12x35-HR
		12	EN 14399-3-M16x60-HR
Tuercas	Clase 10	2	EN 14399-3-M12-HR
		12	EN 14399-3-M16-HR
Arandelas	Dureza 300 HV	4	EN14399-6-12
		24	EN14399-6-16

UNIÓN EN CRUZ DE SAN ANDRÉS. NUDO N6.

1.- TIPO 1

a) Detalle



b) Comprobación

1) Redondo Ø16

Según el artículo 8.6.3 del CTE DB SE-A, las soldaduras a tope con penetración total de esta unión no necesitan ser comprobadas.

c) Medición



Soldaduras

f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
430.0	En taller	A tope en bisel simple	10	230

Angulares

Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
S275	Anclajes de tirantes		L70x10	115
	Total			1.17

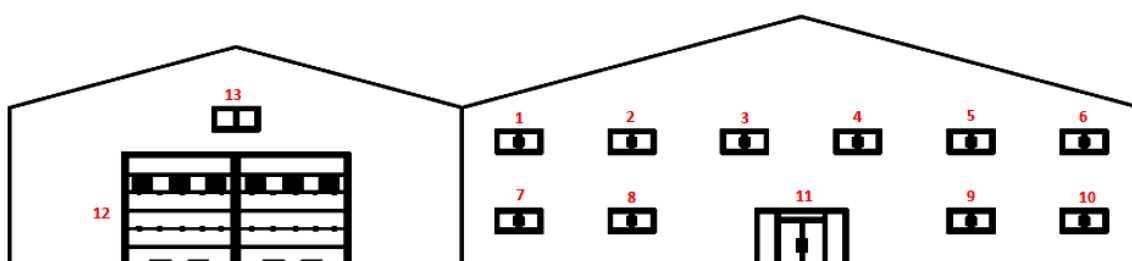
Elementos de tornillería

Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	2	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	1	ISO 7089-16

ANEJO C. EVALUACIÓN DE LOS HUECOS DE LA ESTRUCTURA.

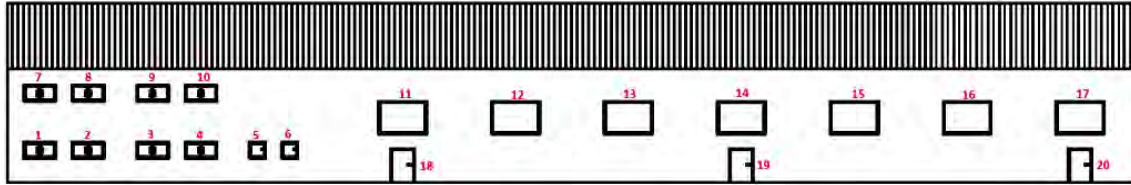
A continuación se evaluarán los parámetros de todos los huecos de la estructura que son necesarios definir para que el generador de pórticos genere las correspondientes cargas de viento.

Fachada Sur



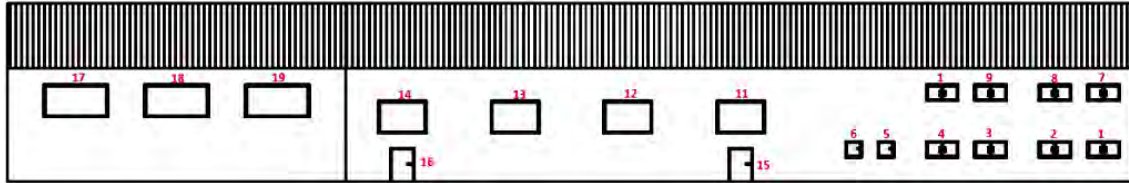
	Dv (m)	Dh (m)	Pv (m)	Ph (m)
1	1	2	5,5	22,5
2	1	2	5,5	27,5
3	1	2	5,5	32,5
4	1	2	5,5	37,5
5	1	2	5,5	42,5
6	1	2	5,5	47,5
7	1	2	2	22,5
8	1	2	2	27,5
9	1	2	2	42,5
10	1	2	2	47,5
11	2,5	4	1,25	35
12	5	10	2,5	10
13	1	2	6,5	10

Fachada Este



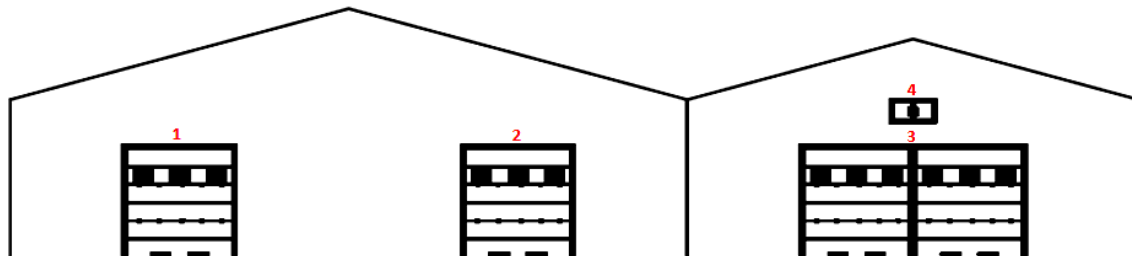
	Dv (m)	Dh (m)	Pv (m)	Ph (m)
1	1	2	2	2
2	1	2	2	5
3	1	2	2	9
4	1	2	2	12
5	1	1	2	15,5
6	1	1	2	17,5
7	1	2	5,5	2
8	1	2	5,5	5
9	1	2	5,5	9
10	1	2	5,5	12
11	2	3	4	24,5
12	2	3	4	31,5
13	2	3	4	38,5
14	2	3	4	45,5
15	2	3	4	52,5
16	2	3	4	59,5
17	2	3	4	66,5
18	2,1	1,5	1,05	24,5
19	2,1	1,5	1,05	45,5
20	2,1	1,5	1,05	66,5

Fachada Oeste



	Dv (m)	Dh (m)	Pv (m)	Ph (m)
1	1	2	2	2
2	1	2	2	5
3	1	2	2	9
4	1	2	2	12
5	1	1	2	15,5
6	1	1	2	17,5
7	1	2	5,5	2
8	1	2	5,5	5
9	1	2	5,5	9
10	1	2	5,5	12
11	2	3	4	24,5
12	2	3	4	31,5
13	2	3	4	38,5
14	2	3	4	45,5
15	2,1	1,5	1,05	24,5
16	2,1	1,5	1,05	45,5
17	2	4	5	65,75
18	2	4	5	59,5
19	2	4	5	53,25

Fachada Norte

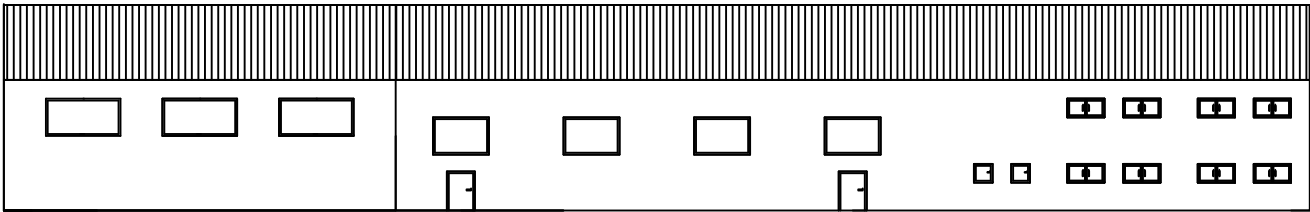


	Dv (m)	Dh (m)	Pv (m)	Ph (m)
1	5	5	2,5	27,5
2	5	5	2,5	42,5
3	5	10	2,5	10
4	1	2	6,5	10

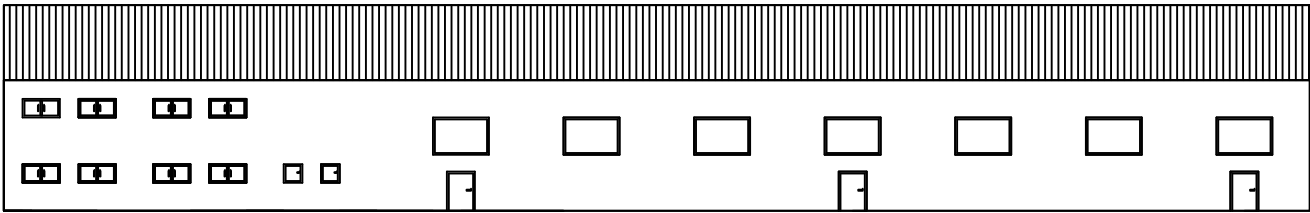


X. PLANOS

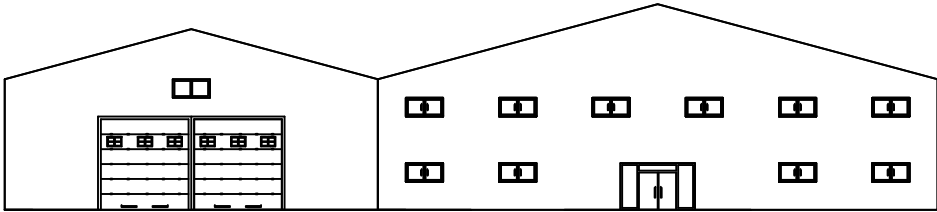
FACHADA OESTE
Nave Principal



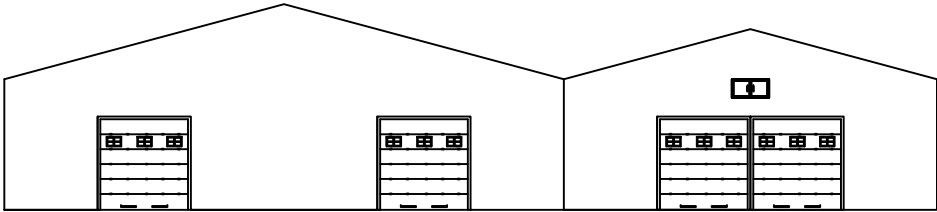
FACHADA ESTE
Nave Principal



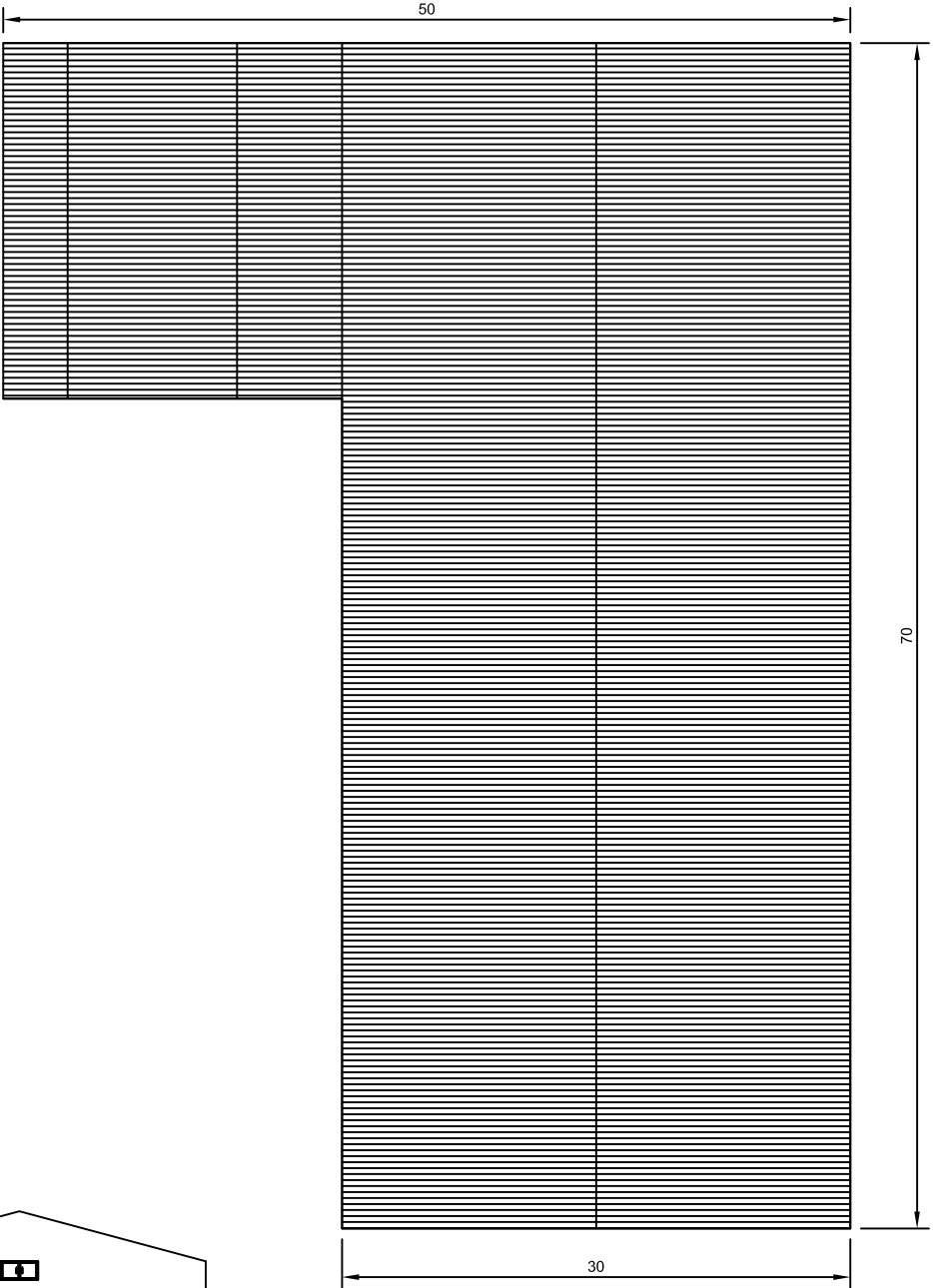
FACHADA SUR
Nave Principal



FACHADA NORTE
Nave Principal



PLANTA GENERAL



TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y
CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL

AUTOR SERGIO DÍAZ LANCHO

ESCALA
S/E

PLANO
FACHADAS EXTERIORES

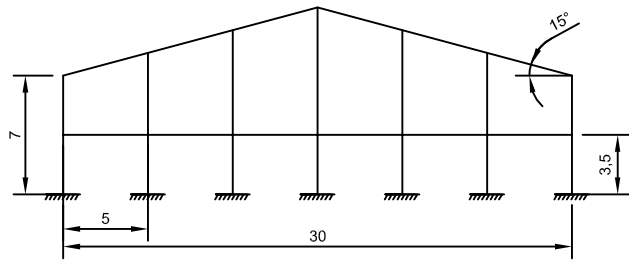
FECHA

MARZO 2014

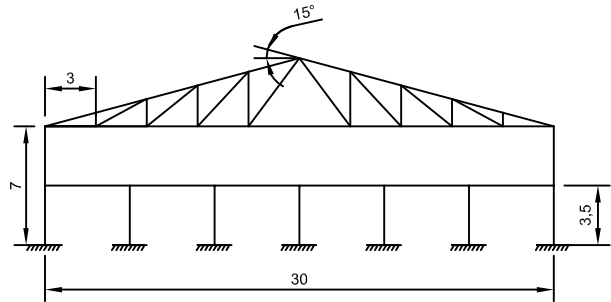
Nº DE PLANO

1 de 11

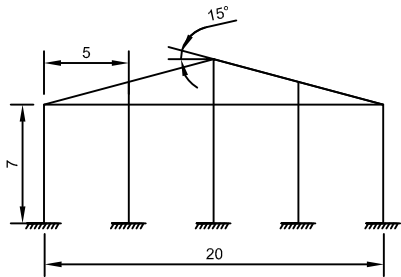
PÓRTICO 1 FACHADA SUR
Nave Principal



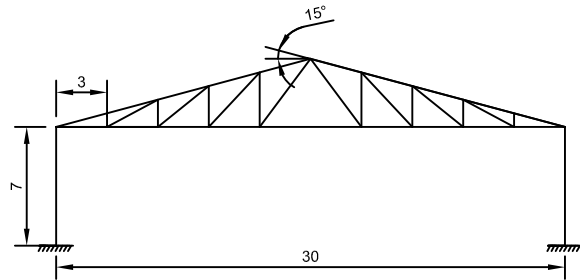
PÓRTICOS 2-3
Nave Principal



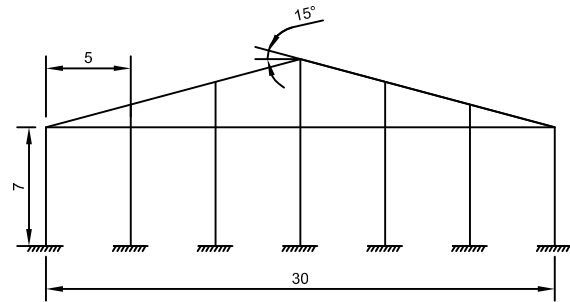
PÓRTICO 1A FACHADA SUR - 4A FACHADA NORTE
Nave Almacén



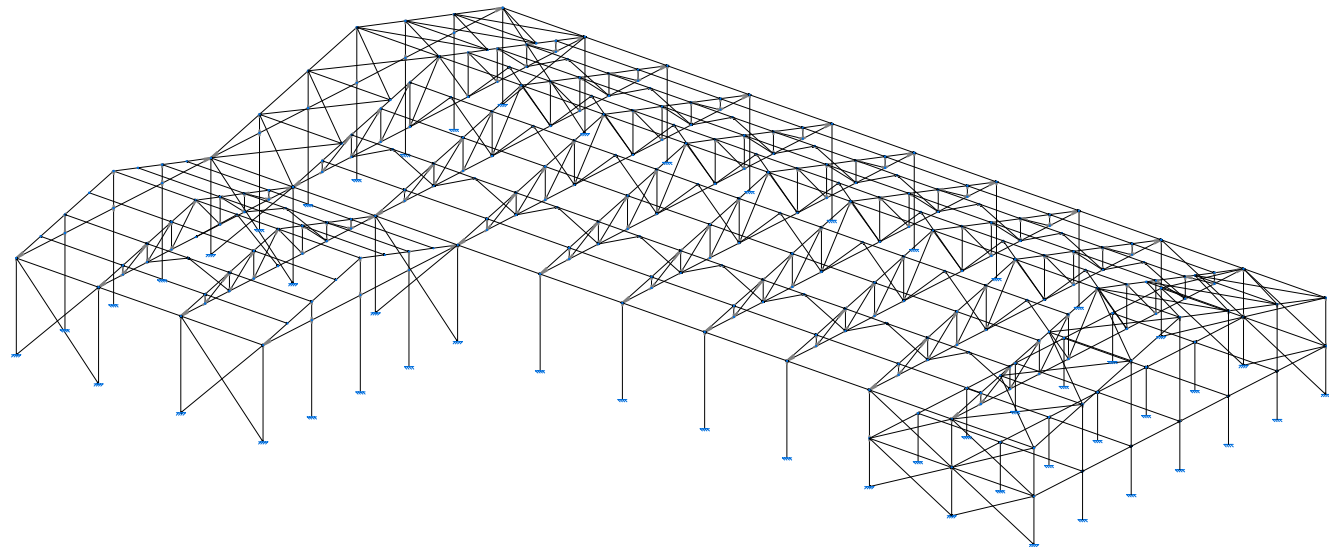
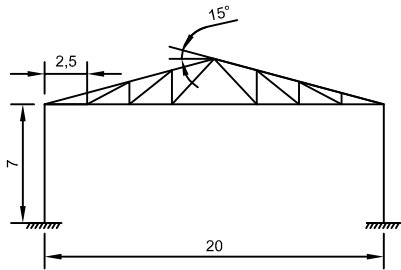
PÓRTICOS 4-5-6-7-8-9-10
Nave Principal




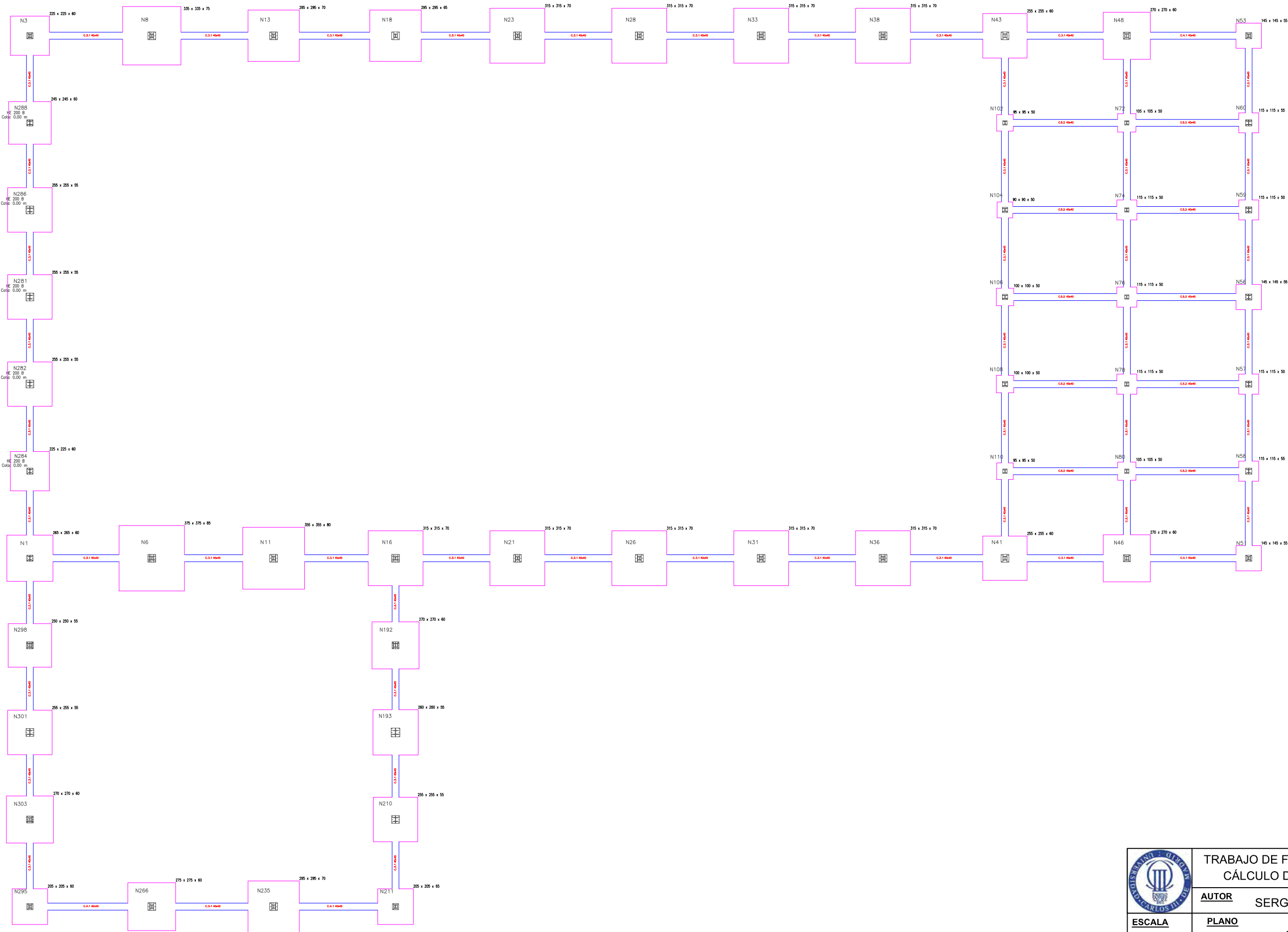
PÓRTICO 11 FACHADA NORTE
Nave Principal




PÓRTICO 2A-3A
Nave Almacén

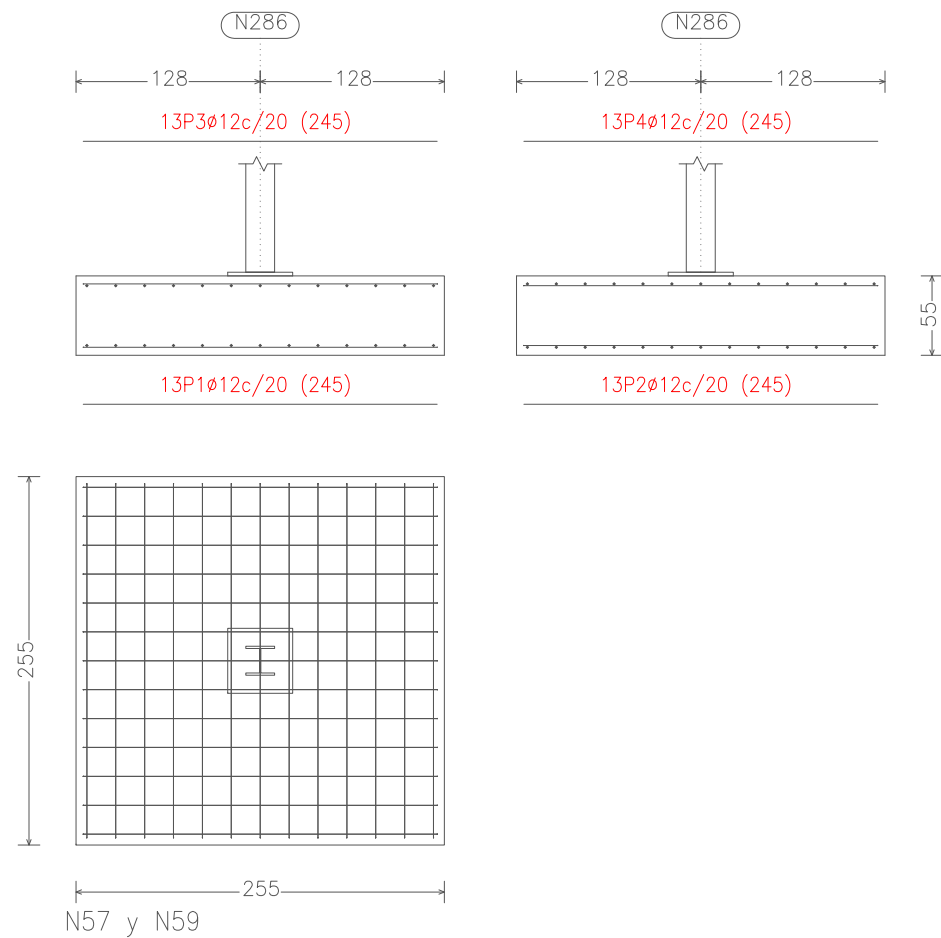


	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA S/E	PLANO PÓRTICOS	
	FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO 2 de 11

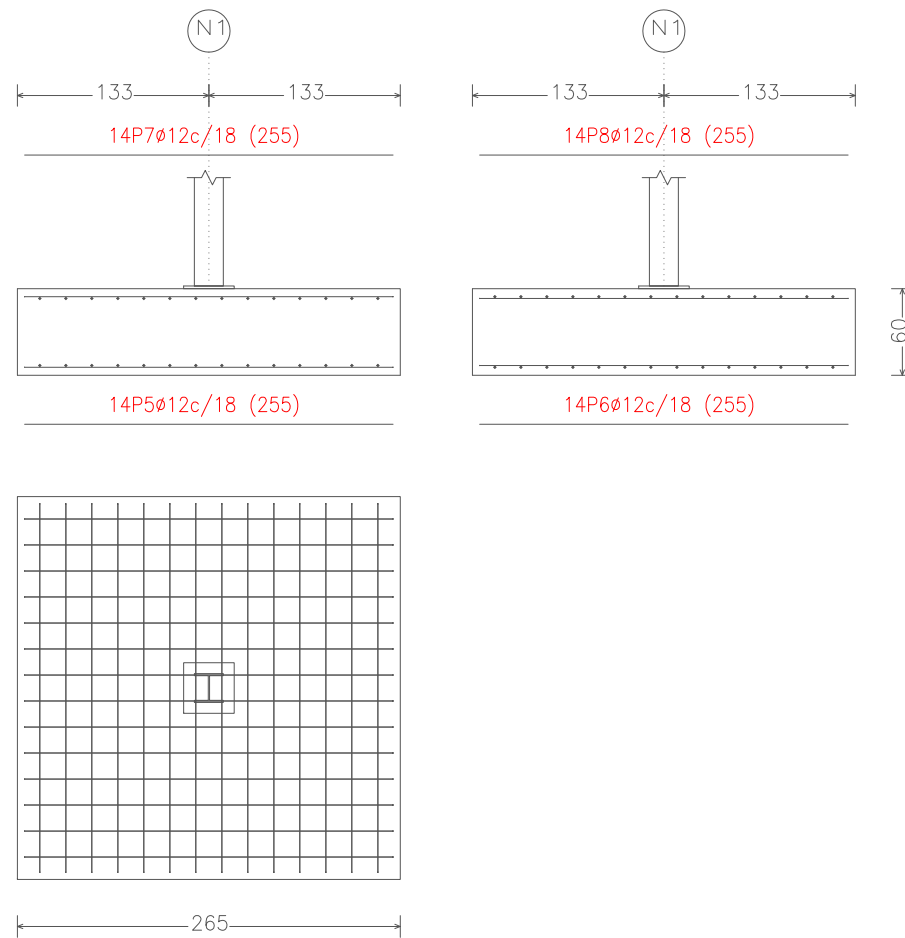


	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA	1/100	
	FECHA	MARZO 2014	N° DE PLANO 3 de 11

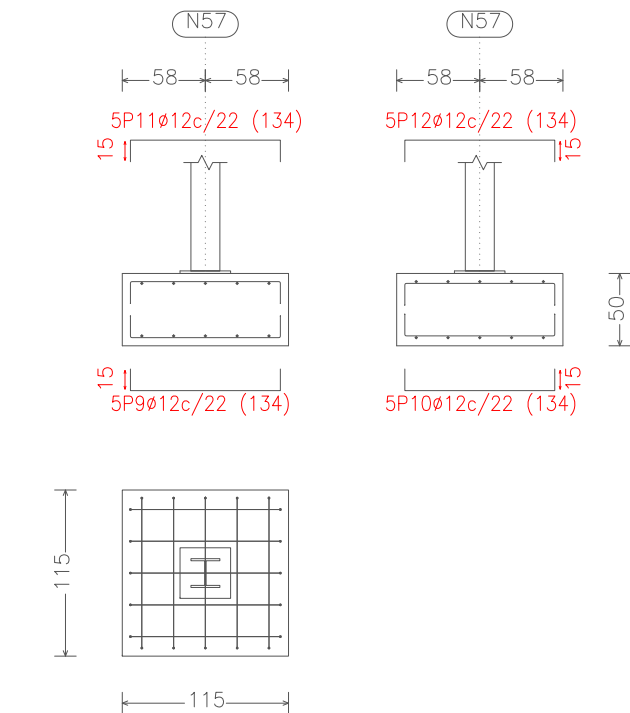
N286, N281, N282, N210 y N301



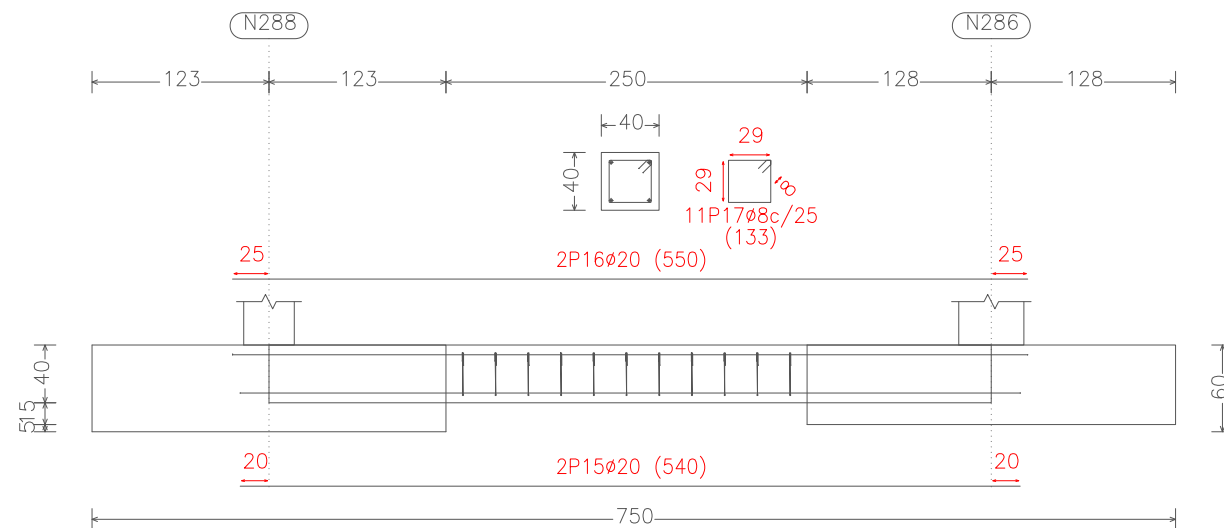
N1



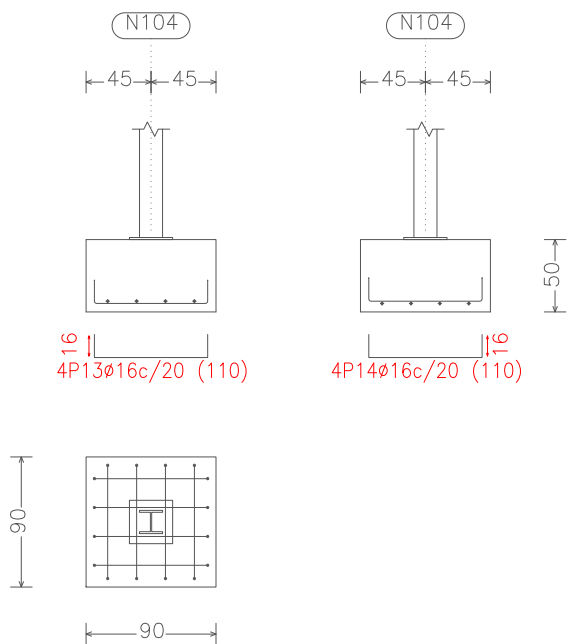
Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 400 S, CN (kg)
N286=N281=N282=N210=N301	1	ø12	13	245	3185	28.3
	2	ø12	13	245	3185	28.3
	3	ø12	13	245	3185	28.3
	4	ø12	13	245	3185	28.3
	Total+10%: (x5):					124.5 622.5
N1	5	ø12	14	255	3570	31.7
	6	ø12	14	255	3570	31.7
	7	ø12	14	255	3570	31.7
	8	ø12	14	255	3570	31.7
	Total+10%:					139.5
N57=N59	9	ø12	5	134	670	5.9
	10	ø12	5	134	670	5.9
	11	ø12	5	134	670	5.9
	12	ø12	5	134	670	5.9
	Total+10%: (x2):					26.0 52.0
N104	13	ø16	4	110	440	6.9
	14	ø16	4	110	440	6.9
	Total+10%:					15.2
C [N288-N286]	15	ø20	2	540	1080	26.6
	16	ø20	2	550	1100	27.1
	17	ø8	11	133	1463	5.8
	Total+10%:					65.5
					ø8:	6.4
					ø12:	814.0
					ø16:	15.2
					ø20:	59.1
					Total:	894.7



C [N288-N286]

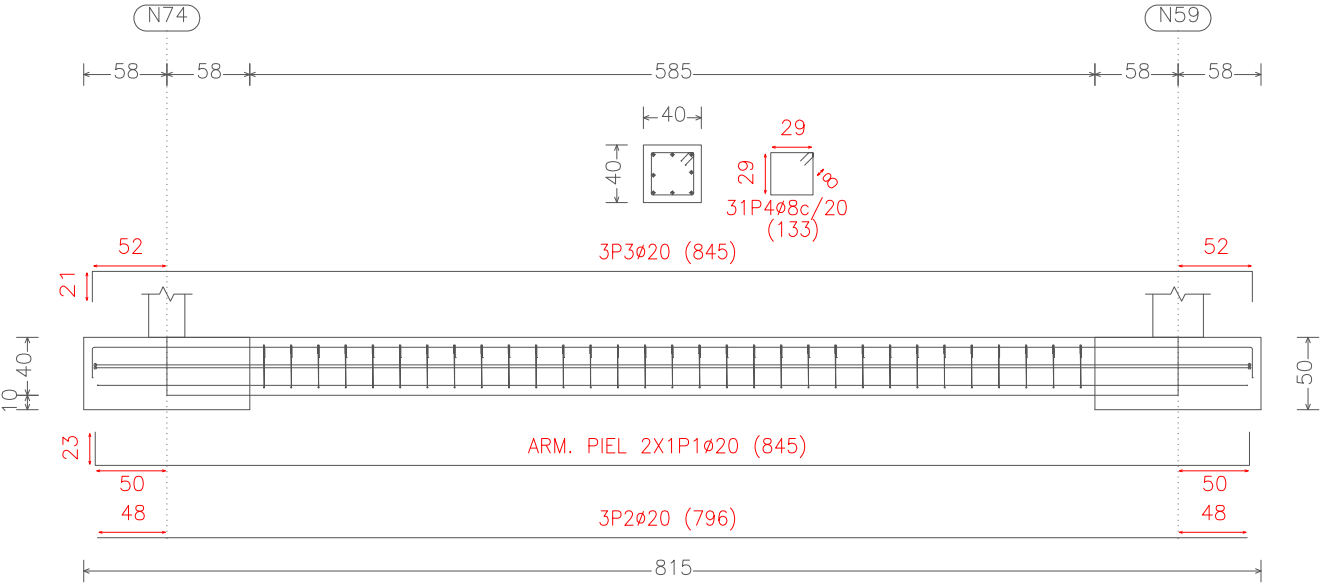


N104



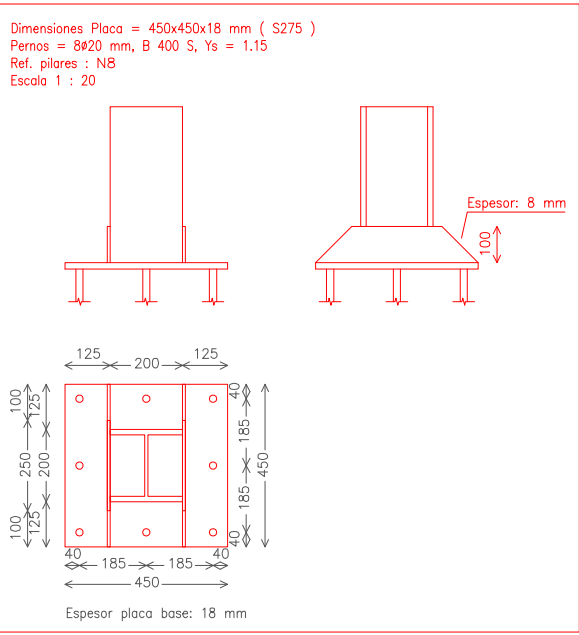
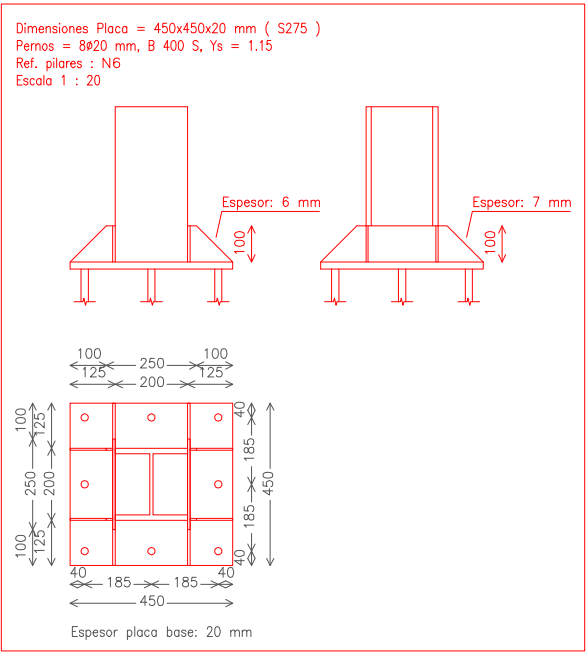
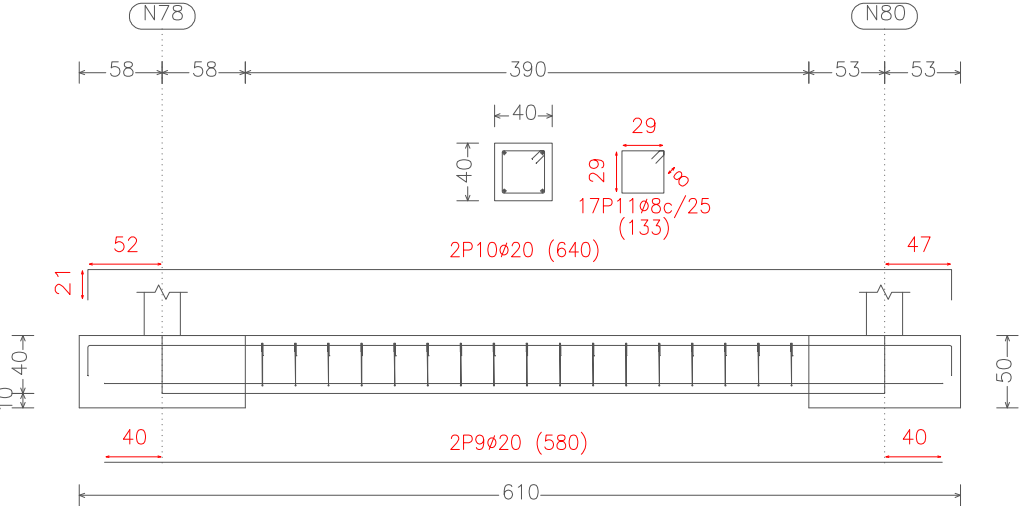
	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA	1/100	
	FECHA	MARZO 2014	
PLANO		PLANO TIPO DE ZAPATAS	
Nº DE PLANO		4 de 11	

C [N74–N59] y C [N78–N57]

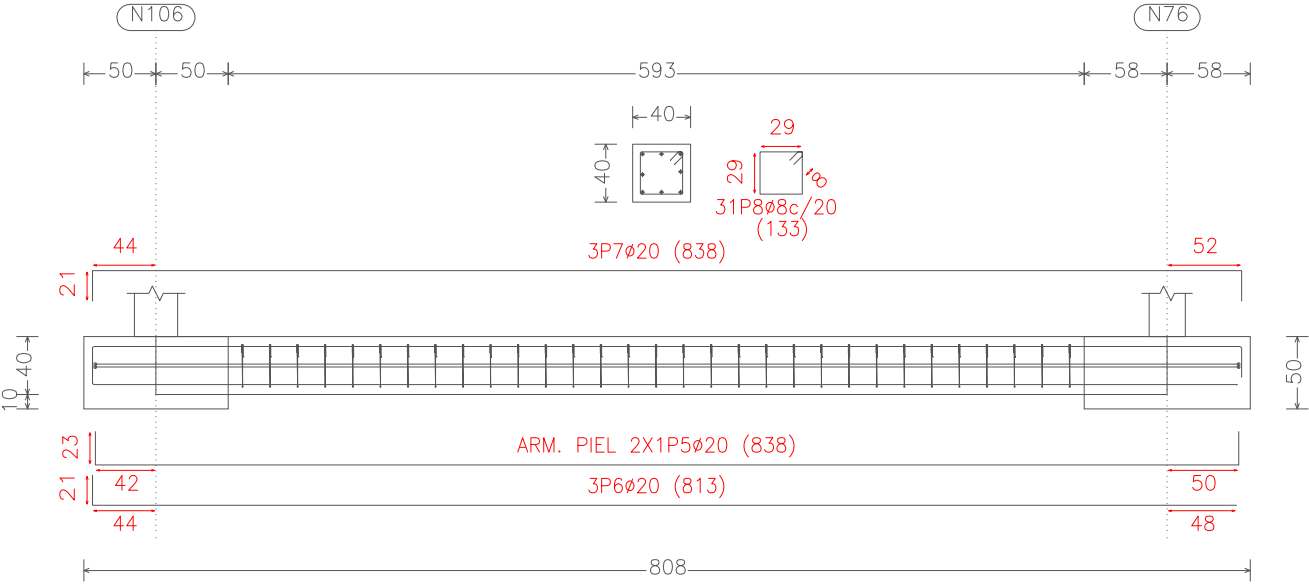



Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 400 S, CN (kg)
C [N74–N59]=C [N78–N57]	1	ø20	2	845	1690	41.7
	2	ø20	3	796	2388	58.9
	3	ø20	3	845	2535	62.5
	4	ø8	31	133	4123	16.3
Total+10%: (x2):					197.3	
					394.6	
C [N106–N76]=C [N108–N78]	5	ø20	2	838	1676	41.3
	6	ø20	3	813	2439	60.1
	7	ø20	3	838	2514	62.0
	8	ø8	31	133	4123	16.3
Total+10%: (x2):					197.7	
					395.4	
C [N78–N80]	9	ø20	2	580	1160	28.6
	10	ø20	2	640	1280	31.6
	11	ø8	17	133	2261	8.9
Total+10%:					76.0	
					ø8:	81.6
					ø20:	784.4
Total:						866.0

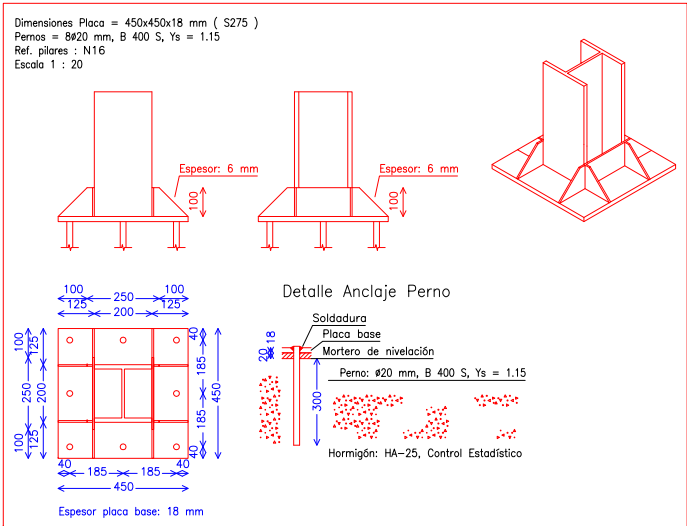
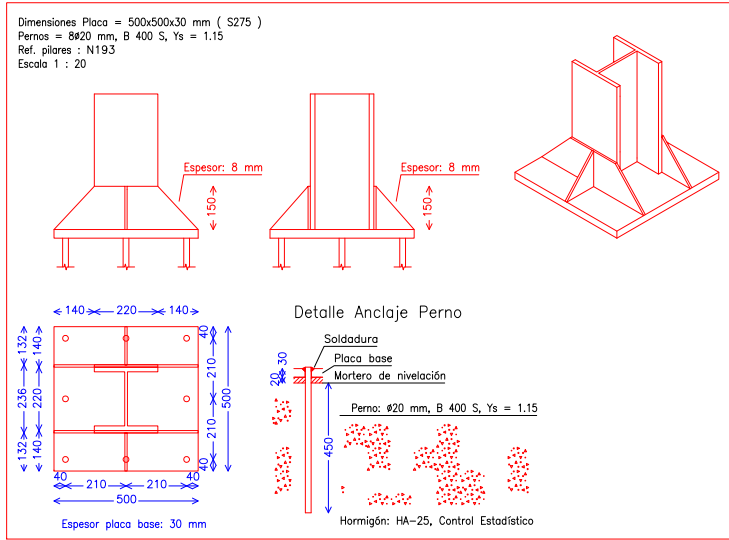
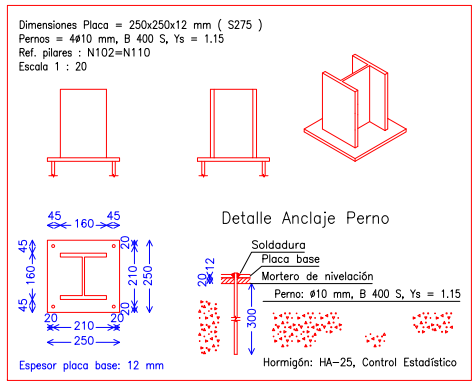
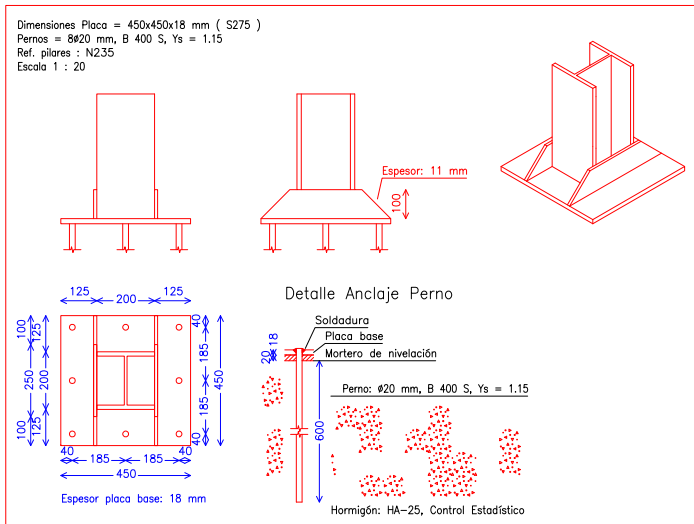
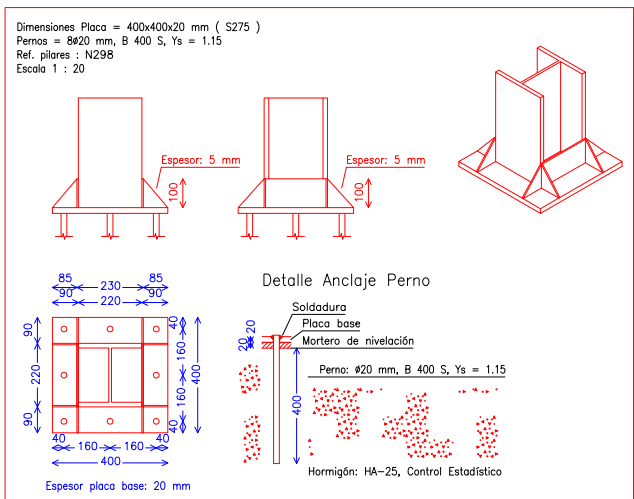
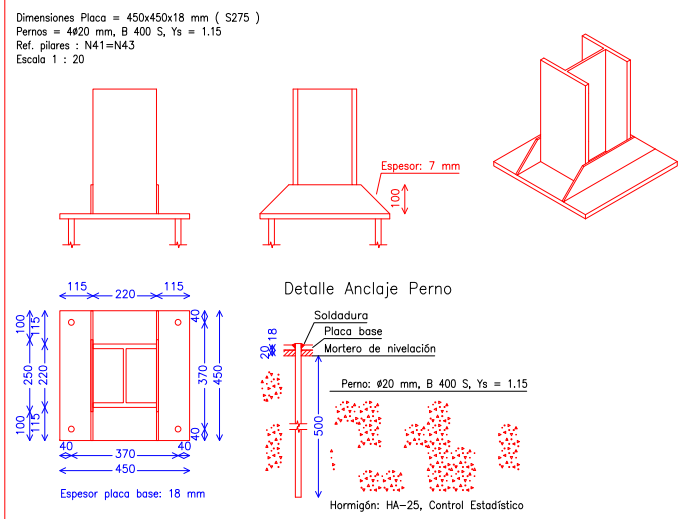
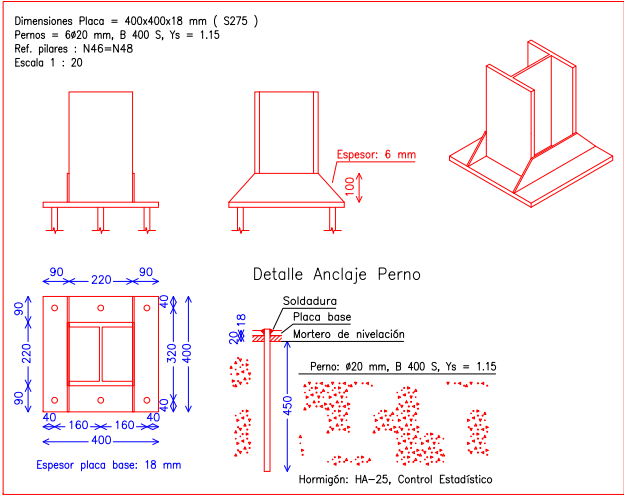
C [N78–N80]



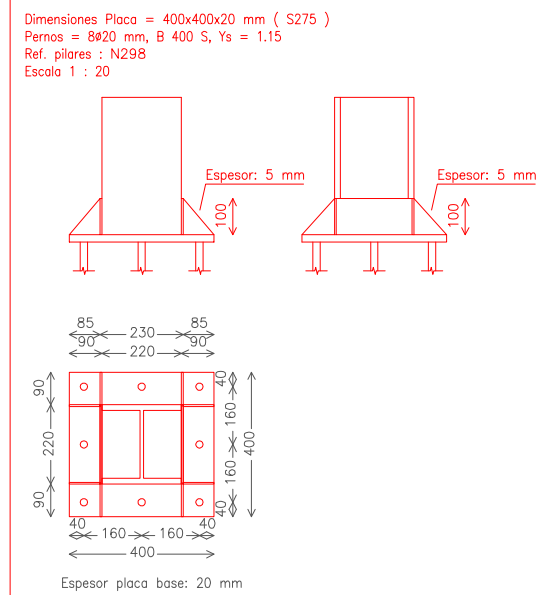
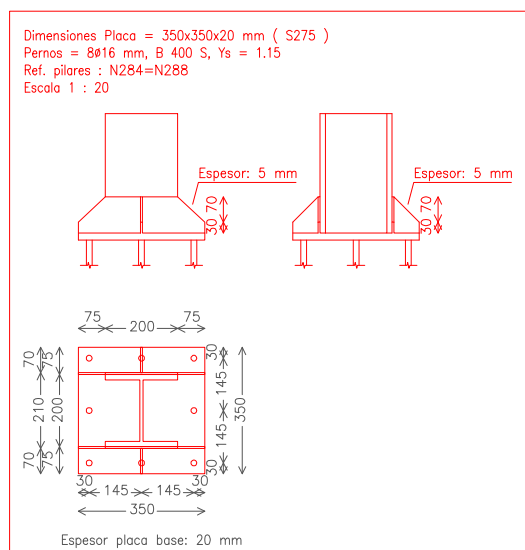
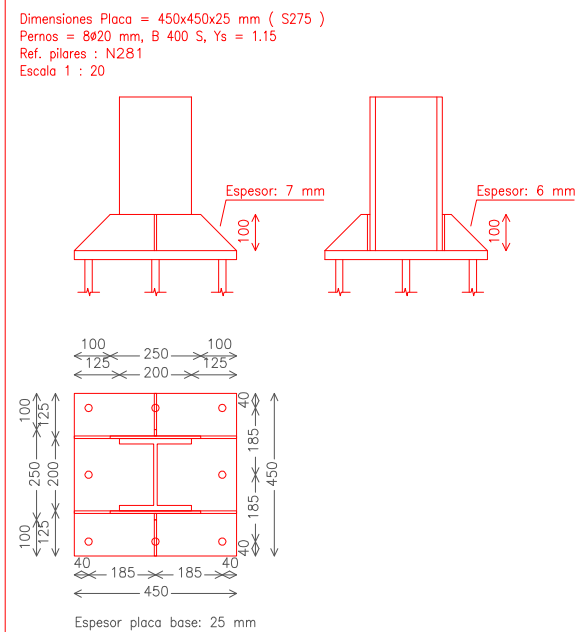
C [N106–N76] y C [N108–N78]



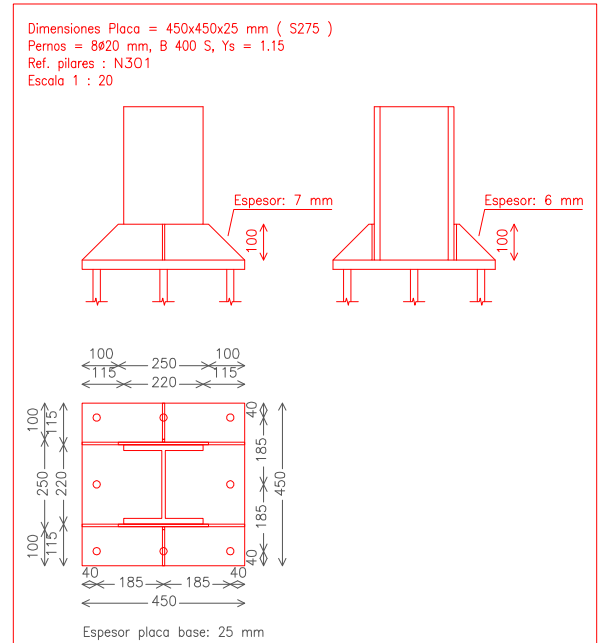
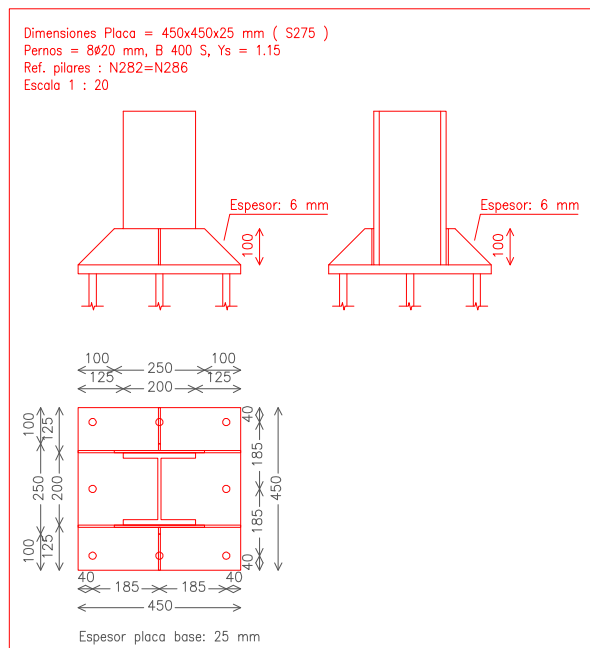
	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
ESCALA	1/100	PLANO	PLANO TIPO DE VIGAS DE ATADO
FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO	5 de 11






	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA	PLANO	
	S/E	PLACAS DE ANCLAJE	
FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO	6 de 11




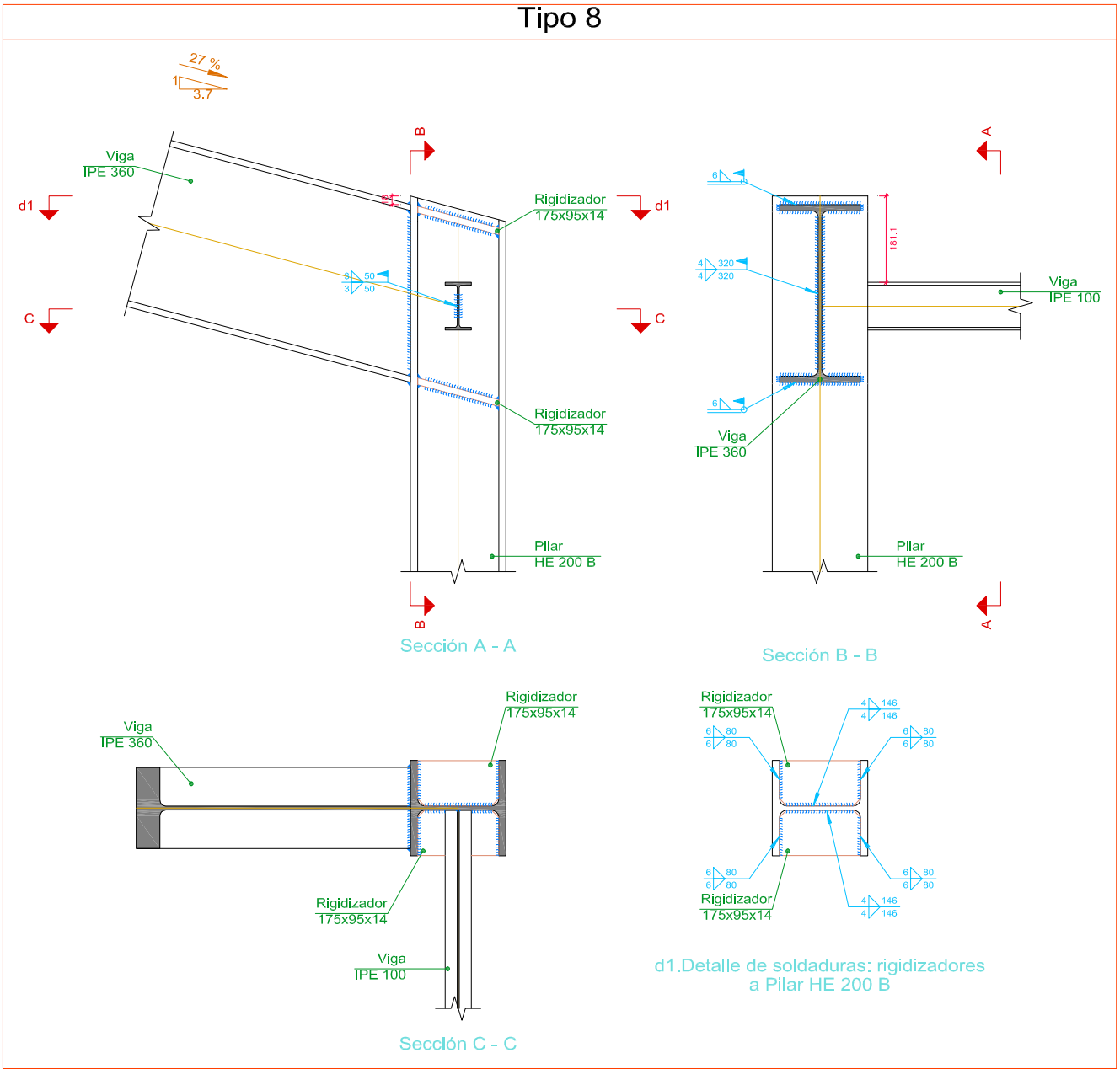
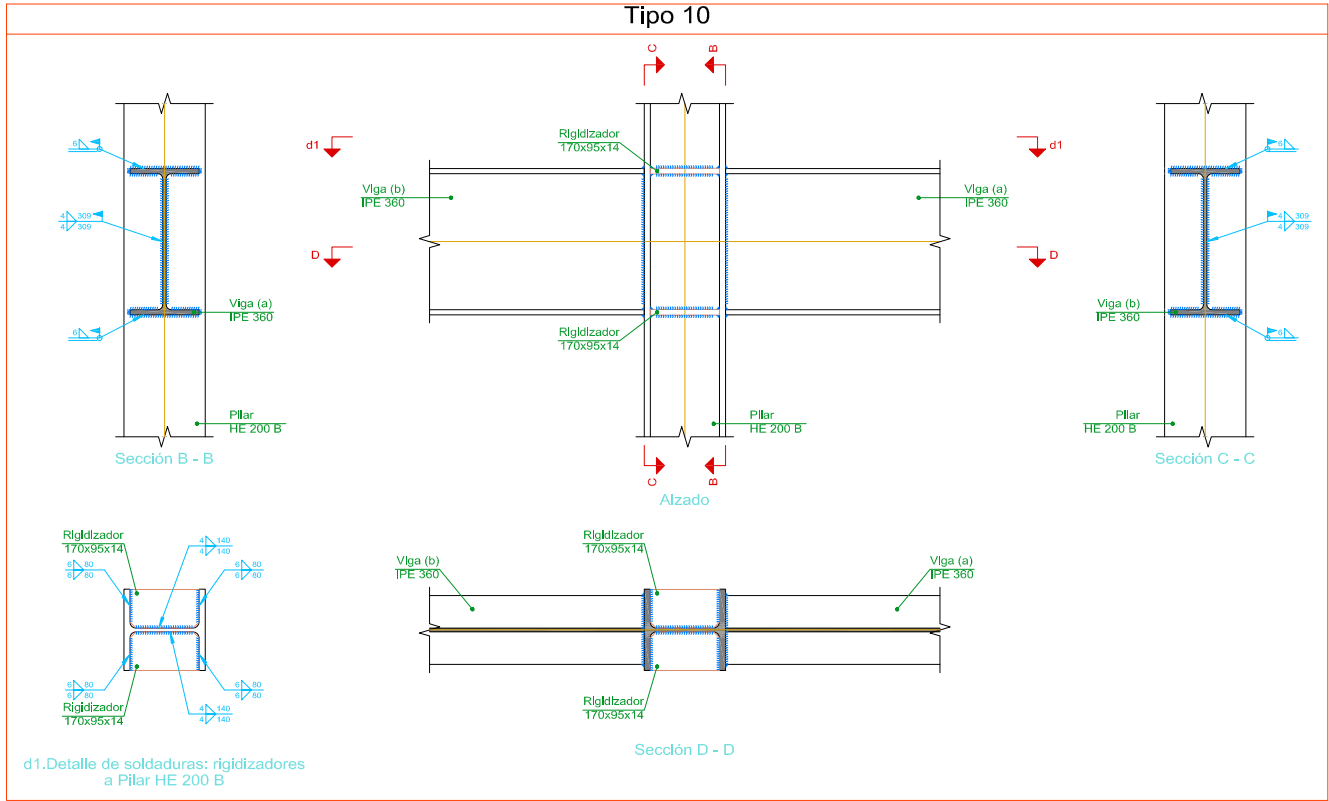
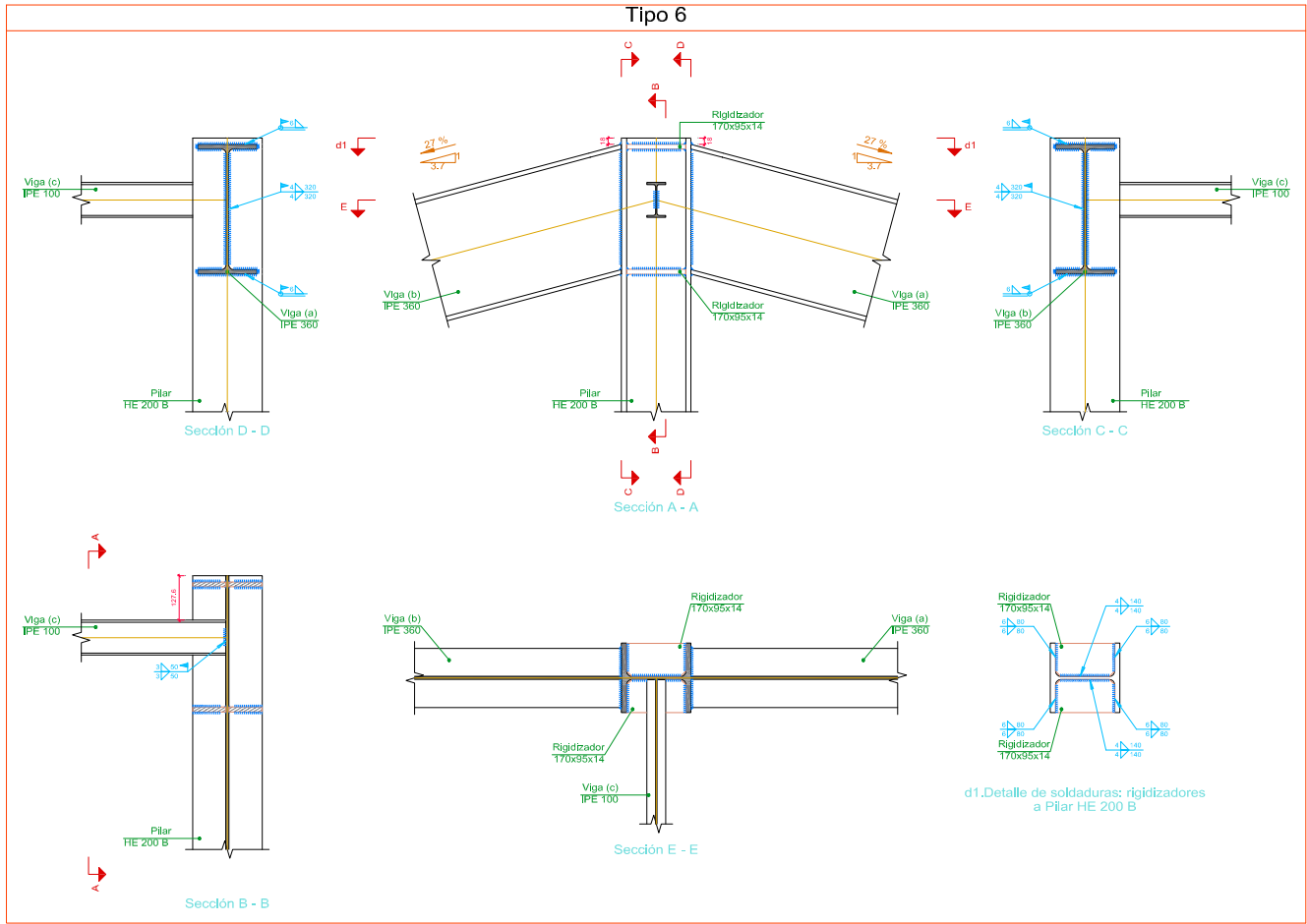
Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N3 y N295	6ø16 mm L=50 cm	350x350x15 (mm)
N288 y N284	8ø16 mm L=50 cm	350x350x20 (mm)
N286 y N282	8ø20 mm L=35 cm	450x450x25 (mm)
N281	8ø20 mm L=40 cm	450x450x25 (mm)
N1	8ø16 mm L=40 cm	350x350x18 (mm)
N6	8ø20 mm L=35 cm	450x450x20 (mm)
N11	8ø20 mm L=65 cm	450x450x20 (mm)
N16 y N266	8ø20 mm L=30 cm	450x450x18 (mm)
N192 y N303	8ø20 mm L=45 cm	400x400x20 (mm)
N193	8ø20 mm L=45 cm	500x500x30 (mm)
N210 y N301	8ø20 mm L=45 cm	450x450x25 (mm)
N211	6ø16 mm L=55 cm	350x350x15 (mm)
N235 y N13	8ø20 mm L=60 cm	450x450x18 (mm)
N298	8ø20 mm L=40 cm	400x400x20 (mm)
N21, N26, N31, N36, N38, N33, N28 y N23	8ø20 mm L=55 cm	450x450x18 (mm)
N41 y N43	4ø20 mm L=50 cm	450x450x18 (mm)
N46 y N48	6ø20 mm L=45 cm	400x400x18 (mm)
N51 y N53	4ø16 mm L=45 cm	350x350x15 (mm)
N58 y N60	4ø16 mm L=45 cm	350x350x18 (mm)
N80 y N72	4ø10 mm L=30 cm	250x250x14 (mm)
N110 y N102	4ø10 mm L=30 cm	250x250x12 (mm)
N108, N106 y N104	4ø14 mm L=30 cm	300x300x15 (mm)
N78 y N74	4ø10 mm L=30 cm	250x250x15 (mm)
N57 y N59	8ø16 mm L=35 cm	350x350x18 (mm)
N56	8ø16 mm L=45 cm	350x350x18 (mm)
N76	4ø10 mm L=30 cm	250x250x18 (mm)
N18	4ø20 mm L=45 cm	450x450x18 (mm)
N8	8ø20 mm L=35 cm	450x450x18 (mm)




Resumen Acero Elemento, Viga y Placa de anclaje	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 400 S, CN	∅8	1556.1	675
	∅12	6226.2	6081
	∅16	322.6	560
	∅20	2199.4	5966
			13282

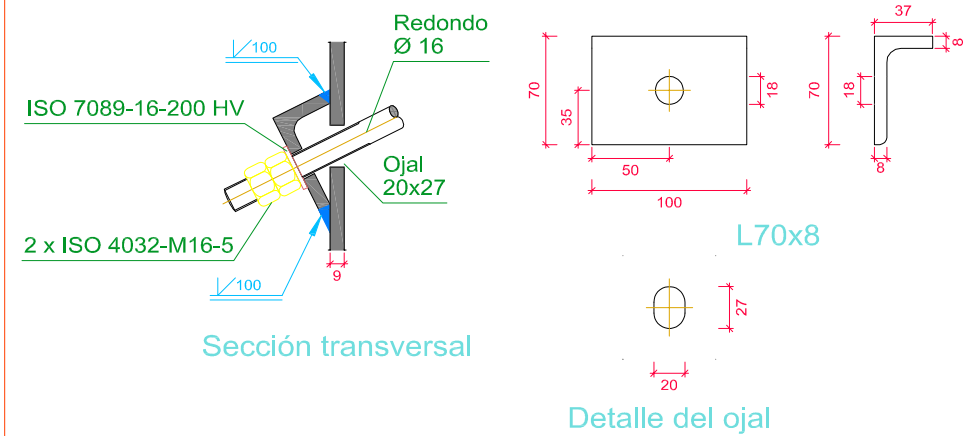
CUADRO DE VIGAS DE ATADO		
 <p>C.3.1 Arm. sup.: 2 $\phi 20$ Arm. inf.: 2 $\phi 20$ Estribos: 1x$\phi 8$c/25</p>	 <p>C.4.1 Arm. sup.: 2 $\phi 20$ Arm. inf.: 2 $\phi 20$ Arm. piel: 1x2 $\phi 20$ Estribos: 1x$\phi 8$c/25</p>	 <p>C.5.2 Arm. sup.: 3 $\phi 20$ Arm. inf.: 3 $\phi 20$ Arm. piel: 1x2 $\phi 20$ Estribos: 1x$\phi 8$c/25</p>

	TRABAJO DE FIN DE GRADO DISEÑO Y CÁLCULO DE NAVE INDUSTRIAL		
	<u>AUTOR</u>	SERGIO DÍAZ LANCHO	
<u>ESCALA</u> $\frac{1}{100}$	<u>PLANO</u>	DETALLE TIPO DE PLACAS DE ANCLAJE Y ARRANQUES	
<u>FECHA</u>	MARZO 2014	<u>Nº DE PLANO</u>	7 de 11

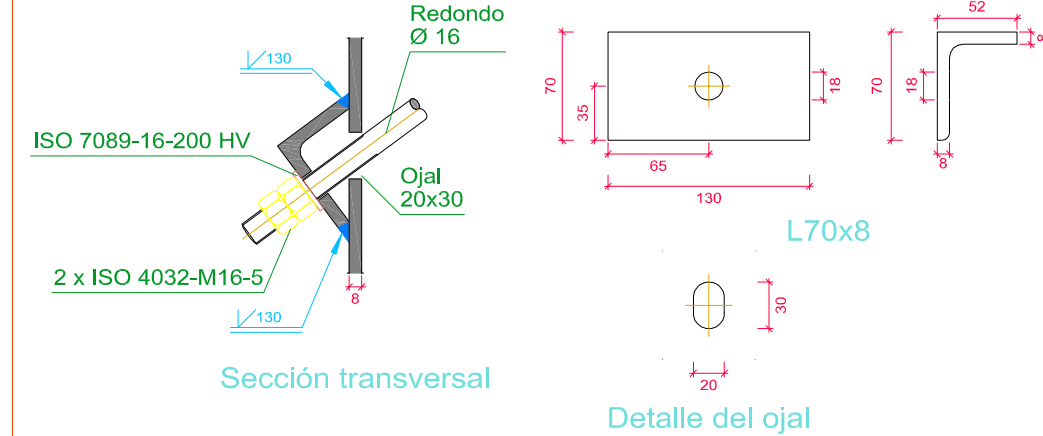


	TRABAJO DE FIN DE GRADO PROYECTO Y DISEÑO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR SERGIO DÍAZ LANCHO		
ESCALA S/E	PLANO UNIONES SOLDADAS		
FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO	8 de 11

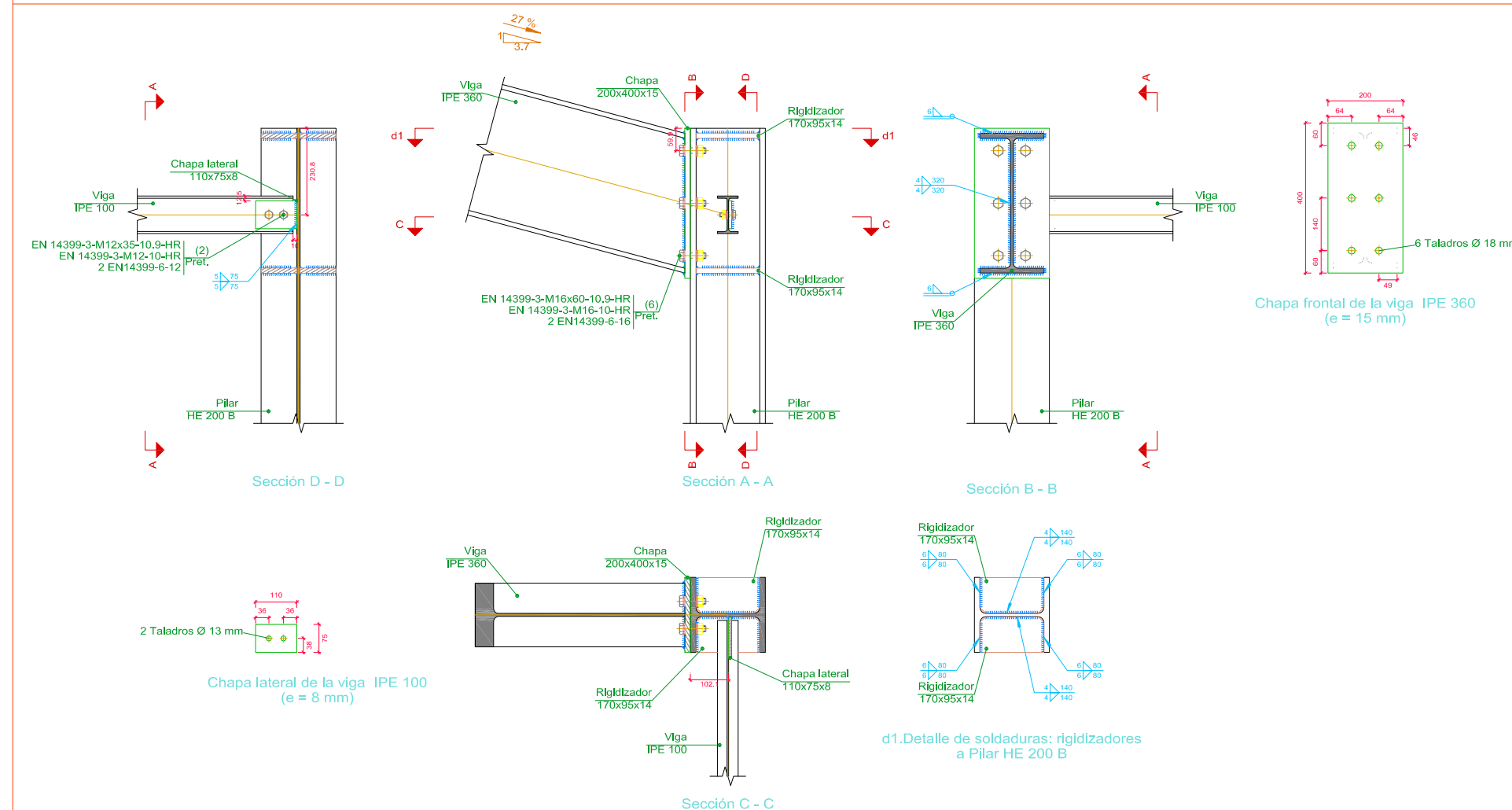
Tipo 3




Tipo 4

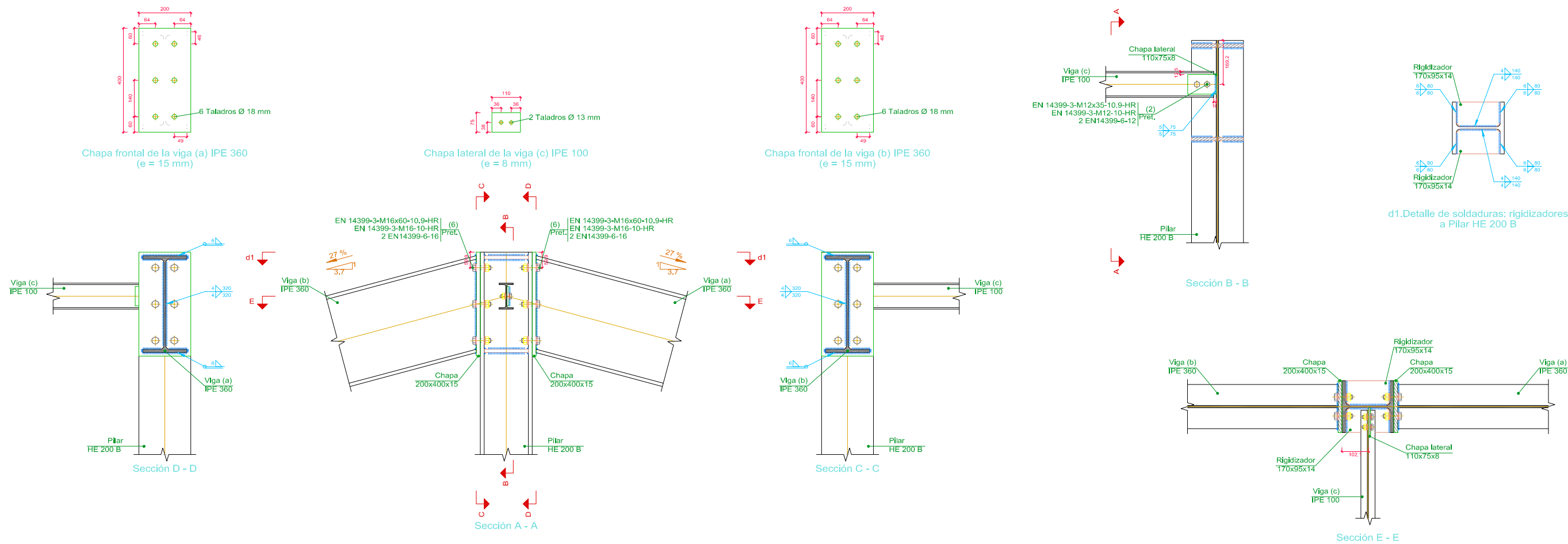


Tipo 8

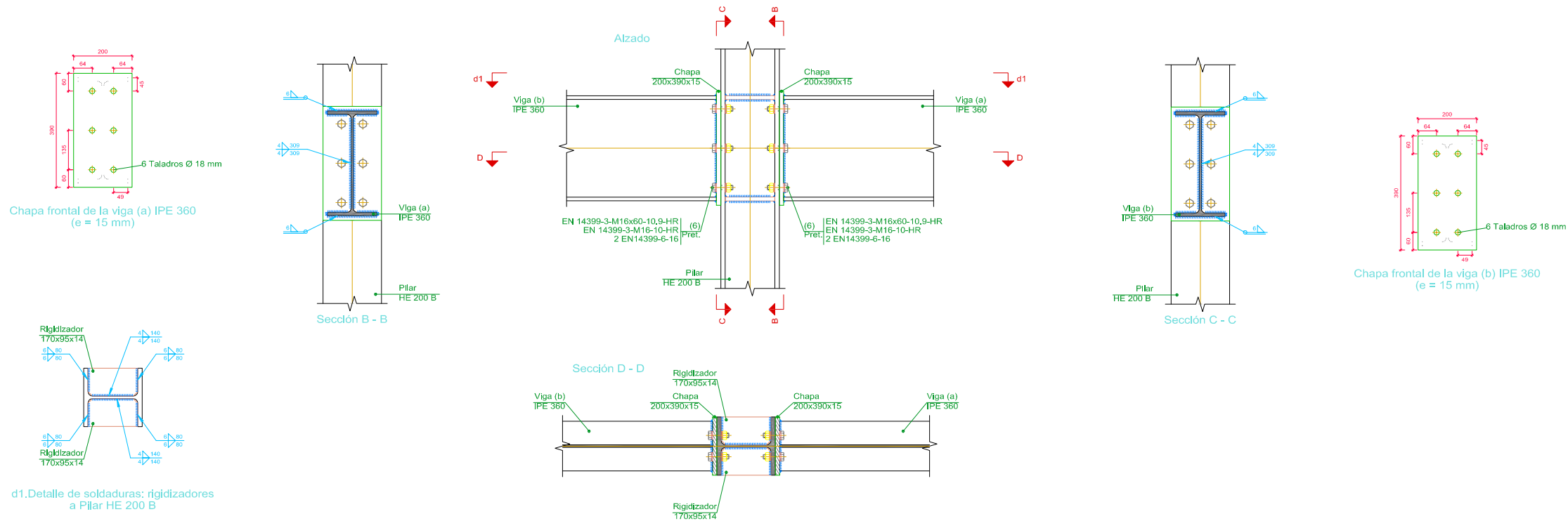


	TRABAJO DE FIN DE GRADO PROYECTO Y DISEÑO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA	PLANO	UNIONES ATORNILLADAS I
	S/E		
FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO	9 de 11

Tipo 6

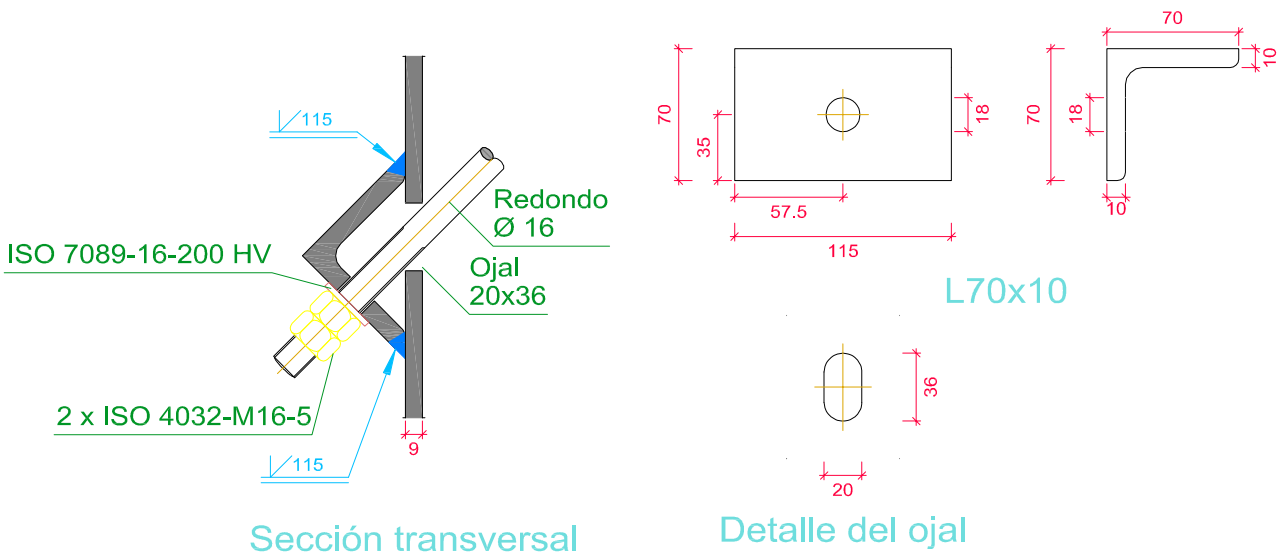


Tipo 10

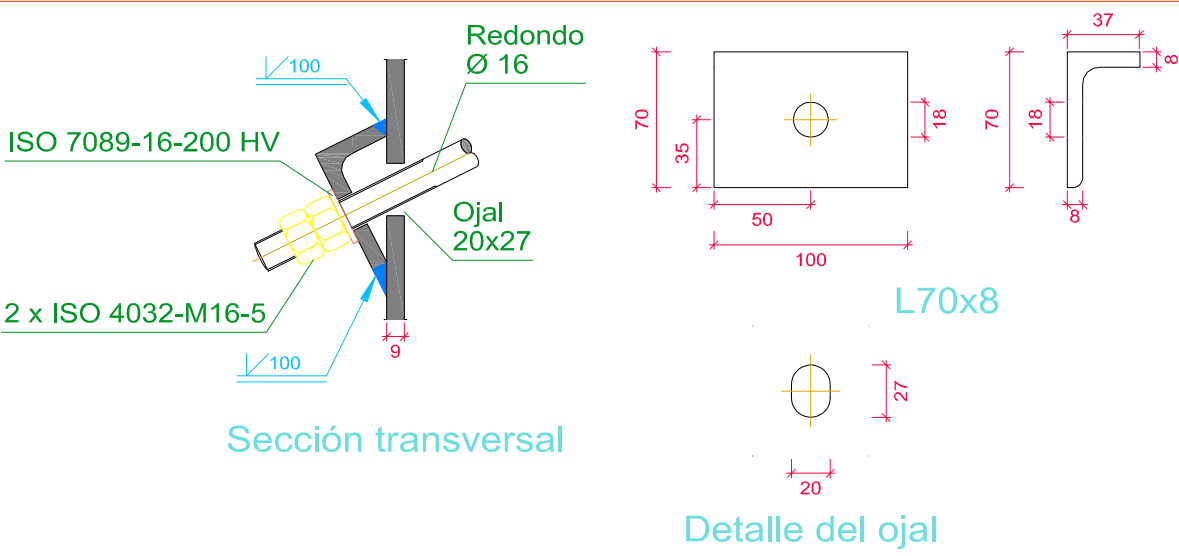


	TRABAJO DE FIN DE GRADO PROYECTO Y DISEÑO DE NAVE INDUSTRIAL		
	AUTOR	SERGIO DÍAZ LANCHO	
	ESCALA	S/E	
	PLANO	UNIONES ATORNILLADAS II	
FECHA	MARZO 2014	Nº DE PLANO	10 de 11

Tipo 1



Tipo 3



Tipo 4

